

"KLÍMA-21" Füzetek

KLÍMAVÁLTOZÁS – HATÁSOK – VÁLASZOK

A TARTALOMBÓL

Környezeti állapot
és a talajdegradáció,
valamint a vízháztartás

Talajbolygatás
és CO₂-kibocsátás

Termésingadozás és időjárás

Árvízvédelmi biztonság,
klímahatások

Modellek a klímaváltozás
hatásainak vizsgálatára

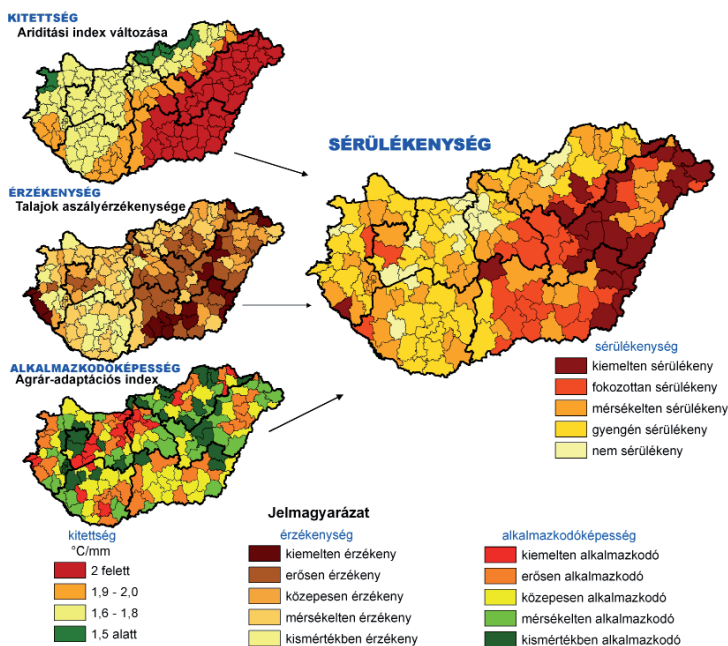
Klimaváltozás és a térség
sérülékenysége

Környezeti értékelés
és a klímaváltozás

Erózióbecslés

2010. 62. szám

Éghajlati kitettség, érzékenység,
alkalmazkodóképesség és sérülékenység
az aszály és szárazodás vonatkozásában



Forrás: Pálvölgyi – Czira – Dobozi – Rideg – Schneller tanulmánya

„KLÍMA-21” FÜZETEK
KLÍMAVÁLTOZÁS – HATÁSOK – VÁLASZOK

“CLIMA-21” BROCHURES
CLIMATE CHANGE – IMPACTS – RESPONSES

„KLIMA-21” HEFTE
KLIMAÄNDERUNG – AUSWIRKUNGEN – LÖSUNGEN

«КЛИМА-21» БРОШЮРЫ
ИЗМЕНЕНИЕ КЛИМАТА – ВЛИЯНИЯ – ОТВЕТЫ

SZERKESZTŐ:

CSETE LÁSZLÓ
c. egyetemi tanár

SZERKESZTŐSÉG:

1093 Budapest, Zsil u. 3–5.
Tel.: 476-3295, Fax: 342-7571
E-mail: csetel@mail.datanet.hu

KIADJA:

MTA KSZI KLÍMAVÉDELMI KUTATÁSOK KOORDINÁCIÓS IRODA

FELELŐS KIADÓ:

LÁNG ISTVÁN
akadémikus

ISSN 1789-428X

Készült:

AKAPRINT KFT. BUDAPEST – Felelős vezető: Freier László

TARTALOM

Előszó	3
--------------	---

TANULMÁNY

<i>Várallyay György</i> : Talajdegradációs folyamatok és szélsőséges vízháztartási helyzetek a környezeti állapot meghatározó tényezői	4
<i>Tóth Eszter – Farkas Csilla</i> : A rendszeres talajbolygatás hatása a talaj szén-dioxid-kibocsátására barackültetvényben	29
<i>Tarnawa Ákos – Klupács Helga – Balla István – Jolánkai Márton</i> : A termésingadozás és az időjárás összefüggései a szántóföldi növénytermelésben	39
<i>Radvánszky Bertalan – Babák Krisztina – Balogh János – Fábián Szabolcs Ákos – Schweitzer Ferenc</i> : Az árvízvédelem biztonsága és a klímahatások kapcsolata a Tisza vízgyűjtőjén.....	43
<i>Farkas Csilla – Hagyó Andrea</i> : Szelvény- és vízgyűjtő-szintű modellek alkalmazhatósága a klímaváltozás környezeti hatásainak értékelésére	59
<i>Szalai Zoltán – Balogh János – Jakab Gergely</i> : Erózióbecslés változó klimatikus viszonyok között	75
<i>Pálvölgyi Tamás</i> : A klímaváltozás figyelembevétele a környezeti értékelésekben	81
<i>Pálvölgyi Tamás – Czira Tamás – Dobosi Eszter – Rideg Adrienn – Schneller Krisztián</i> : A kistérségi szintű éghajlat-változási sérülékenységvizsgálat módszere és eredményei	88
Summary	103
Contents	109

ELŐSZÓ

A *fenntartható fejlődés* megkülönböztetett jelentőségű eleme hazánk természeti erőforrásainak, benne a talajkészleteknek, illetve ökoszisztémáknak (felszín közeli geológiai képződmények – talaj – víz – élővilág – légkör kontinuum) a védelme, állagának megőrzése, kedvező állapotának megóvása, *sokoldalú funkcióképességének fenntartása, valamint ésszerű hasznosítása*. Ez az élet alapvető minőségében (megfelelő mennyiségű és minőségű élelmiszer; „tiszta” víz; kellemes környezet) olyan *össztársadalmi érdek*, amely nemcsak a földtulajdonos és földhasználó, hanem az egész társadalom részéről megkülönböztetett figyelmet érdemel, átgondolt és összehangolt intézkedéseket tesz szükségessé. Magyarország *általában és viszonylag kedvező agroökológiai adottságokkal* rendelkezik. De e kedvező adottságok igen nagy tér- és időbeni *változatosságot* mutatnak, *szeszélyesek, szélsőségekre hajlamosak*, s érzékenyen reagálnak bizonyos természeti okok miatti vagy különböző emberi tevékenység okozta *stresszhatásokra*. Hazánk környezeti állapotának megóvása (vagy javítása) érdekében ezekhez a körülményekhez alkalmazkodni szükséges, felkészülve a várható változásokra, azok kedvező hatásainak erősítésére, illetve a kedvezőtlen következmények megelőzésére, elhárítására, csökkentésére. Mégpedig tudományosan megalapozott módszerek, technológiák kidolgozásával, széles körű elterjesztésével, valamint eredményes alkalmazásával.

Fenti indokok alapján nyújtottuk be pályázatunkat a *Miniszterelnöki Hivatal* és a *Magyar Tudományos Akadémia* közötti stratégiai kutatásokról szóló Együttműködési Megállapodás MeH-VII. szakaszában (2009–2010) folytatandó kutatásokra „A hazai környezetállapot vizsgálata, különös tekintettel a klímaváltozásra” címmel. Ennek a kutatási programnak a 2009–2010. évi eredményeit adjuk közre a „KLÍMA-21” Füzetek 62. számában.

A Projekt keretében megrendezett „Az aszály és a szárazodás Magyarországon” című konferencián (Kecskemét, 2009. október 7.) megtartott két plenáris előadás anyaga a „KLÍMA-21” Füzetek 59. számában jelent meg.

Várallyay György
a projekt vezetője

TALAJDEGRADÁCIÓS FOLYAMATOK ÉS SZÉLSŐSÉGES VÍZHÁZTARTÁSI HELYZETEK A KÖRNYEZETI ÁLLAPOT MEGHATÁROZÓ TÉNYEZŐI

VÁRALLYAY GYÖRGY

Kulcsszavak: talaj multifunkcionalitása, talajdegradáció, talajtermékenység, belvízveszély-aszályérzékenység, talaj környezeti állapota.

ÖSSZEFOGLALÓ MEGÁLLAPÍTÁSOK, KÖVETKEZTETÉSEK, JAVASLATOK

Magyarország legfontosabb feltételelesen megújuló (megújítható) természeti erőforrása a talaj, amelynek ésszerű és fenntartható használata, védelme, állagának megőrzése és sokoldalú funkcióképességének fenntartása a környezetvédelem és a biomassza-termelés közös feladata, a fenntartható fejlődés egyik alapeleme, tehát állampolgári érdek.

A talaj funkcióit egyre inkább és egyre sokoldalúbban hasznosítja az ember, élve (sajnos nem ritkán visszaélve) a talaj sajátos és specifikus önmegújuló képességével (soil resilience). Magyarországon a nagyon változatos talajképződési tényezők bonyolult összhatásának eredményeképpen mozaikosan tarka talajtakaró jött létre, térben és időben egyaránt nagyon változó talajtulajdonságokkal, amelyekről nemzetközi színvonalú talajtani adatbázis nyújt információt, s képez tudományos alapokat azok befolyásolására.

Magyarország általában és viszonylag kedvező agroökológiai adottságokkal rendelkezik. Ezt azonban nagy és szeszélyes tér- és időbeni variabilitás jellemzi, valamint az alábbi tényezők korlátozzák, veszélyeztetik:

1. Talajdegradációs folyamatok.
2. Szélsőséges vízháztartási helyzetek (árvíz, belvíz, túlnedvesedés, aszály).
3. Elemek (növényi tápanyagok és potenciális szennyező anyagok) biogeokémiai ciklusának kedvezőtlen irányú megváltozása.

A talajdegradációs folyamatok túlnyomó része a talaj környezeti érzékenységének jellemzésével, „stresszelemzésével” megelőzhető, kivédhető, de legalább egy ökológiai tűréshatárig mérsékelhető.

Magyarország vízkészletei korlátozottak. S nem lehet számítani sem a légköri csapadék, sem felszíni és felszín alatti vízkészletek jövőbeni növekedésére sem. A korlátozott készletekből egyre nagyobb és sokoldalúbb társadalmi igényeket kell(ene) kielégíteni. A mezőgazdaságnak és a gazdaságfejlesztésnek, valamint a környezetvédelemnek egyaránt a víz az egyik meghatározó tényezője, a vízhasználat hatékonyságának növelése pedig megkülönböztetett jelentőségű kulcsfeladat.

A klímaváltozás-prognózisok egybehangzó megállapítása szerint a szélsőséges időjárási és vízháztartási helyzetek (árvíz, belvíz, túlnedvesedés, illetve aszály) valószínűsége, gyakorisága, tartama növekszik, s súlyosbodnak ennek káros következményei. Ilyen körülmények között megkülönböztetett jelentősége van annak, hogy az ország leg-

nagyobb kapacitású potenciális természetes víztározója a talaj. Ez a tározótér azonban a víz talajba szivárgásának és a talajban történő hasznos tárolásának akadályai miatt gyakran nem hasznosul, s szélsőséges vízháztartási helyzeteket eredményez, azok minden káros következményével. A nedvességforgalom-szabályozás alaptétele tehát ezen akadályok megszüntetése vagy mérséklése. Az erre irányuló beavatkozások túlnyomó része ugyanakkor kedvező környezetvédelmi intézkedés is.

Magyarország talajainak környezeti állapota és annak változásai szempontjából megkülönböztetett jelentőségű a talaj vízgazdálkodása és nedvességforgalma, hisz ez a növényzet és a bióta közvetlen vízellátásán kívül többnyire döntő mértékben befolyásolja a többi talajökológiai tényező (levegő-, hő- és tápanyagforgalom, biológiai tevékenység) állapotát és dinamikáját is. Jelentősen (gyakran meghatározóan) hat a talaj anyag- és energiaforgalmára, abiotikus és biotikus transzport és transzformációs folyamatokra, következőképpen funkcióira, termékenységére, megújuló képességére. Hat továbbá a talaj technológiai állapotára, művelhetőségére, a talajművelés energiaigényére; valamint a talaj környezeti érzékenységére, stressztűrő képességére, technikai és kémiai terhelhetőségére is.

A talaj kedvező környezeti állapotának fenntartása, megóvása, vagy éppen kialakítása érdekében is mindent meg kell tenni azért, hogy a talaj felszínére jutó víz minél nagyobb hányada szivároгjon be a talajba, s tározódjon ott, növények számára hasznosítható formában. Erre megfelelő talajhasználati és agrotechnikai módszerek állnak rendelkezésre, csak az adott körülményekhez kell azokat – termőhely-specifikusan – adaptálni és végrehajtani. Ezek az intézkedések – a talaj potenciális vízraktározó képességének minél teljesebb körű kihasználásával – egyaránt csökkentik az aszályérzékenység és a belvízveszély kockázatát, mérséklék azok kedvezőtlen gazdasági, környezeti, társadalmi hatásait, káros következményeit is.

A talaj vízháztartás-szabályozása tehát egyaránt nélkülözhetetlen eleme a fenntartható talajhasználatnak, a korszerű vízkészlet-gazdálkodásnak, az eredményes környezetvédelemnek, sőt a vidékfejlesztésnek is.

BEVEZETÉS

Magyarországon a *fenntartható fejlődés* megkülönböztetett jelentőségű elemei természeti erőforrásaink, benne talajkészleteink, illetve ökoszisztémáink (felszín közeli geológiai képződmények – talaj – víz – élővilág – légkör kontinuum) *ésszerű hasznosítása*, védelme, állagának megőrzése, kedvező állapotának megóvása, *sokoldalú funkcióképességének fenntartása*. Ez az élet alapvető minőségének (megfelelő mennyiségű és minőségű élelmiszer; „tisztá” víz; kellemes környezet) biztosítása céljából olyan *össztársadalmi érdek*, ami nemcsak a földtulajdonos és földhasználó, hanem az egész társadalom részéről megkülönböztetett figyelmet érdemel, átgondolt és összehangolt

intézkedéseket tesz szükségessé. Magyarország általában és viszonylag kedvező *agroökológiai adottságokkal* rendelkezik. De e kedvező adottságok igen nagy tér- és időbeni *változatosságot* mutatnak, *szeszélyesek, szélsőségekre hajlamosak*, s érzékenyen reagálnak bizonyos természeti okok miatti vagy különböző emberi tevékenység okozta *stresszhatásokra*. A környezeti állapot megóvása (vagy javítása) érdekében ezekhez a körülményekhez szükséges alkalmazkodni, a várható változásokra felkészülni, azok kedvező hatásainak erősítésére, illetve kedvezőtlen következményeinek megelőzésére, elhárítására, gyengítésére, csökkentésére tudományosan megalapozott módszereket, technológiákat kidolgozni, széleskörűen és eredményesen alkalmazni.

A TALAJ JELENTŐSÉGE ÉS FUNKCIÓI

Az egyéb természeti kincsekben szegény Magyarország legjelentősebb feltételelesen megújuló (megújítható) természeti erőforrását talajkészleteink képezik (Várallyay, 2010a; Csete – Várallyay, 2004).

A talaj három specifikus tulajdonsággal rendelkezik:

- **Termékenység:** képes a talajban, talajon vagy a talajjal kapcsolatban lévő élő szervezetek (bióta, természetes növényzet, természetett kultúrák) alapvető életfeltételeit, a (talaj) ökológiai igényeit (elsősorban víz- és tápanyagellátását) többé vagy kevésbé kielégíteni.

- **Megújuló képesség:** képes bizonyos stresszhatások okozta károsodást/sérülést követően megújulni, s eredetihez közeli állapotába visszatérni.

- **Multifunkcionalitás:** Primér biomasz-termelés alapvető közege, a bioszféra primér tápanyagforrása; a többi természeti erőforrás integrátora, transzformátora; hő-, víz-, tápelem-, szükséges esetben szennyező-anyag-raktár; stresszhatások pufferközege; szűrő és detoxikáló rendszer; bioszféra génrezervoárja.

A talaj funkciói közül legfontosabbak a következők (Várallyay, 2002b):

a) A talaj *feltételelesen megújuló (megújítható) természeti erőforrás*. Ésszerű használata során nem változik irreverzibilisen, „minősége” nem csökken szükségszerűen és kivédhetetlenül. Megújulása azonban nem megy végbe automatikusan, zavartalan funkcióképességének, termékenységének fenntartása, megőrzése állandó tudatos tevékenységet követel, amelynek legfontosabb elemei az ésszerű földhasználat, talajvédelem, agrotechnika és melioráció.

b) A talaj a többi természeti erőforrás (sugárzó napenergia, légkör, felszíni és felszín alatti vízkészletek, geológiai képződmények, biológiai erőforrások) hatását *integrálva és transzformálva* biztosít életteret a talajbani mikroorganizmus-tevékenységnek, termőhe-

lyet a természetes növényzetnek és természetett kultúráknak.

c) A talaj a primér növényi *biomassza-termelés alapvető közege, a bioszféra primér tápanyagforrása*. Víz, levegő és a növény számára hozzáférhető tápanyagok egyidejűleg fordulhatnak elő ebben a négydimenziós, háromfázisú polidiszperz rendszerben, s ily módon képes a talaj a mikroorganizmusok és növények talajökológiai feltételeit többé vagy kevésbé kielégíteni.

d) A talaj *hő-, víz-, növényi tápanyagok és potenciálisan káros anyagok természetes raktározója*. Képes a felszín közeli atmoszférára hőmérsékleti szélsőségeit – bizonyos mértékig – kiegyenlíteni; a mikroorganizmusok és növények – bizonyos szintű – víz- és tápanyagellátását a raktározott készletekből rövidebb-hosszabb idejű víz- és tápanyag-utánpótlás nélküli időszakokra is biztosítani.

e) A talaj a természet *szűrő és detoxikáló rendszere*, amely képes a mélyebb rétegeket és a felszín alatti vízkészleteket a talaj felszínére vagy a talajba jutó szennyeződésektől megóvni.

f) A talaj a *bioszféra nagy kiegyensúlyozó képességgel (pufferkapacitással) rendelkező eleme*, amely egy bizonyos határig képes mérsékelni, tompítani a talajt érő különböző stresszhatásokat. Ilyet természeti tényezők (léghőmérséklet, túl bő nedvességviszonyok, fagy stb.) is kiválthatnak. Egyre fenyegetőbbek és súlyosabbak azonban az ember által okozott különböző stresszhatások: komplex gépsorok és nehéz erőgépek alkalmazása, nagyadagú műtrágya- és növényvédőszer-használat; a koncentrált állattartó telepek hígtrágyája; az ipar-, közlekedés-, településfejlesztés és városiasodás szennyező hatásai, elhelyezendő hulladékai, szennyvizei; felszíni bányászat. A társadalom egyre inkább arra kényszerül, hogy a talaj tompító képességét igénybe vegye, kihasználja, néha sajnos visszaélve e lehetőséggel.

g) A talaj a *bioszféra jelentős génrezervoárja*, amely jelentős szerepet játszik a biodiverzitás fenntartásában, hisz az élő szervezetek jelentős hányada él a talajban (bióta

„habitatja”), vagy kötődik léte, élete közvetlenül vagy közvetve a talajhoz.

h) A talaj *természeti és történelmi örökségek „hordozója”*.

A felsorolt funkciók mindegyike nélkülözhetetlen, azok egymáshoz viszonyított fontossága, jelentősége, „súlya” azonban térben és időben egyaránt nagymértékben változott az emberiség történelme során, s változik ma is. Hogy hol és mikor melyik funkciót hasznosítja az ember, milyen módon és milyen mértékben, az az adott gazdasági helyzettől, szocio-ökonómiai körülményektől, politikai döntésektől, az ezek által megfogalmazott céloktól, „elvárásoktól” függ. Sok esetben egy-egy funkció karaktere (tér- és időbeni variabilitása, változékonysága/stabilitása/kontrollálhatósága, határfeltételei, korlátai) nem – vagy nem megfelelően – került figyelembe vételre a talajkészletek különböző célú hasznosítása során. Ez pedig sajnos gyakran ésszerűtlen talajhasználathoz, a talaj kizsárolásához, megújuló képességének meghiúsulásához, egy vagy több talajfunkció zavarához, súlyosabb esetben komoly környezetkárosodáshoz vezetett, s – megfelelő ellenintézkedések hiányában – vezethet a jövőben is.

Magyarország változatos domborzatú geológiai képződményein a változatos éghajlati és hidrológiai viszonyok, természetes növényzet, valamint emberi tevékenység hatására igen változatos talajképződési folyamatok indultak meg és eredményezték Magyarország különösen változatos, gyakran mozaikosan tarka talajtakarójának a kialakulását. A változatosság horizontálisan (foltosság) és vertikálisan (rétegezethez) egyaránt kifejezett és a legtöbb talajtulajdonságra érvényes (Láng – Csete – Harnos, 1983; Magyarország Nemzeti Atlasza, 1989; Stefanovits, 1992).

Magyarország, elsősorban a magyar alföldek talajai általában és viszonylag kedvező adottságokkal rendelkeznek különböző célú (élelmiszer, takarmány, ipari nyersanyag, alternatív energia) biomassza-termelésre. Bizonyítja ezt számos globális, kontinentális (esetünkben EU), regionális, illetve országos

felmérés eredménye. Ez utóbbiak közül Magyarországon kettőt érdemes kiemelni:

– Magyarország agroökológiai potenciáljának felmérése (AGROTOPO adatbázis; Láng – Csete – Harnos, 1983; Várallyay et al., 1979, 1980a,b).

– Magyarország talajainak környezeti állapotát nyomon követő monitoring-rendszer (TIM) adatbázisa (Várallyay et al., 2009).

Az AGROTOPO adatbázis alapján – fenti állításunk igazolására – az 1. táblázatban bemutatjuk Magyarország talajainak területi megoszlását az azok termékenységét első sorban meghatározó hét tulajdonság szerint (Várallyay et al., 1980a). A táblázatban szereplő tulajdonságok területi adatai az AGROTOPO adatbázisban megyei, agroökológiai körzetenkénti és genetikai talajtípusonkénti bontásban egyaránt rendelkezésre állnak (Várallyay et al., 1980a,b).

A Talajvédelmi Információs és Monitoring-rendszer (TIM) 1200 mérési pont (800 mezőgazdasági területen, 200 erdőterületen, 200 környezetvédelmi szempontból különösen érdekes területen) adatai alapján szolgáltat információkat 20 talajtulajdonságról, azok időbeni változékonyságától függő 1-3-6 éves gyakorisággal. Magyarország talajainak környezeti állapotát bemutató és folyamatosan nyomon követő TIM adatbázisa 2009-ben magyar, majd 2010-ben angol nyelven, igényes és gazdagon illusztrált kiadványban jelent meg (1. ábra; Várallyay et al., 2009).

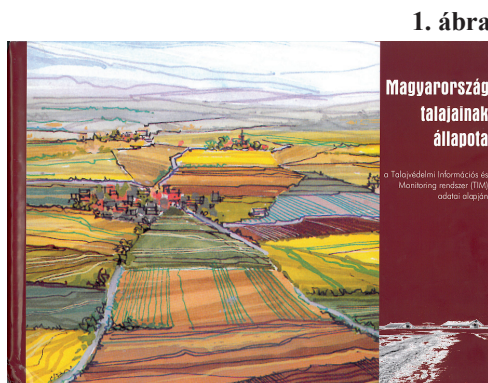
A hazai talajokra vonatkozó – nemzetközi szempontból is páratlanul gazdag – adatbázis alapján megállapítható, hogy Magyarország talajtakarója – a változatos talajképződési tényezők együttes hatásának eredményeképpen – igen nagy tér- és időbeni változatosságot mutat, gyakran mozaikosan tarka (Magyarország Nemzeti Atlasza, 1989). A kedvező adottságokat azonban elsősorban három tényező korlátozza:

- Talajdegradációs folyamatok.
- Szélsőséges vízháztartási helyzetek.
- A szerves anyag és az elemek (növényi tápanyagok és potenciális szennyező anyagok) kedvezőtlen biogeokémiai körforgalma.

1. táblázat
Néhány talajjellemző területi megoszlása Magyarországon az összterületből

(M.e.: %)

TALAJKÉPZŐ KÖZET	
1. Glaciális és alluviális üledékek	37,7
2. Lössös üledékek	48,0
3. Harmadkori és idősebb üledékek	7,5
4. Nyirok	1,7
5. Mészke, dolomit	2,6
6. Homokkő	0,1
7. Agyagpala, fillit	0,3
8. Gránit, porfirít	0,1
9. Andezit, riolit, bazalt	2,0
	100,0
A TALAJ KÉMHAATÁSA ÉS MÉSZAÁLLAPOTA	
1. Erősen savanyú talajok	13,5
2. Gyengén savanyú talajok	42,3
3. Szénsavas meszet tartalmazó talajok	38,4
4. Nem felszíntől karbonátos szikes talajok	4,2
5. Felszíntől karbonátos szikes talajok	1,6
	100,0
FIZIKAI TALAJFÉLESÉG	
1. Homok	15,8
2. Homokos vályog	9,6
3. Vályog	43,2
4. Agyagos vályog	18,6
5. Agyag	6,9
6. Tőzeg, kotu	1,3
7. Nem, vagy részben mállott durva vázrészek	4,6
	100,0
A TALAJ VIZGAZDÁLKODÁSI TULAJDONSÁGAI	
1. Igen nagy víznyelésű és vízvezető képességű, gyenge vízraktározó képességű, igen gyengén víztartó talajok	10,5
2. Nagy víznyelésű és vízvezető képességű, közepes vízraktározó képességű, gyengén víztartó talajok	11,1
3. Jó víznyelésű és vízvezető képességű, jó vízraktározó képességű, jó víztartó talajok	24,9
4. Közepes víznyelésű és vízvezető képességű, nagy vízraktározó képességű, jó víztartó talajok	19,1
5. Közepes víznyelésű, gyenge vízvezető képességű, nagy vízraktározó képességű, erősen víztartó talajok	6,2
6. Gyenge víznyelésű, igen gyenge vízvezető képességű, erősen víztartó, kedvezőtlen vízgazdálkodású talajok	14,9
7. Igen gyenge víznyelésű, szélsőségesen gyenge vízvezető képességű, igen erősen víztartó, igen kedvezőtlen, szélsőséges vízgazdálkodású talajok	3,6
8. Jó víznyelésű és vízvezető képességű, igen nagy vízraktározó képességű talajok	1,3
9. Sekély termőrétegűség miatt szélsőséges vízgazdálkodású talajok	8,4
	100,0
SZERVESANYAG-KÉSZLET (t/ha) (a talaj humuszos rétegére vonatkoztatva)	
1. 0–50	5,3
2. 50–100	21,0
3. 100–200	28,5
4. 200–300	21,1
5. 300–400	20,7
6. 400–	3,4
	100,0
A TERMŐRÉTEG VASTAGSÁGA (kő, kavics, talajvíz)	
1. 0–20 cm	0,3
2. 20–40 cm	4,9
3. 40–70 cm	5,3
4. 70–100 cm	4,0
5. 100– cm	85,5
	100,0



A TIM Atlasz címlapja

Jelen munkánkban az első kettővel foglalkozunk kissé részletesebben.

TALAJTERMÉKENYSÉGET GÁTLÓ TÉNYEZŐK, TALAJDEGRADÁCIÓS FOLYAMATOK

Magyarország jelentős területein *korlátozzák* a talaj multifunkcionalitását, benne termékenységét a 2. ábrán bemutatott *tényezők* (Szabolcs – Várallyay, 1978).

E tényezők természeti (termőhelyi) *adottságok*, amelyekhez vagy *alkalmazkodni* kell megfelelő talajhasználattal, művelési ággal, vetésszerkezettel és agrotechnikával, a „Termeljünk mindent ott, ahová való!”, illetve „Mezőgazdaságunk termelési szerkezetét minél inkább kell természeti (ökológiai) viszonyainkhoz igazítani!” alapelvek érvényesítésével, vagy – amennyiben az lehetséges, szükséges, indokolt és racionális – azok *megváltoztatásával* (melioráció, talajjavítás, talajvédelem, vízrendezés) (Láng – Csete – Jolánkai, 2007; Harnos – Csete, 2008; Várallyay – Farkas, 2008).

Talajdegradációs folyamatok a talaj anyagforgalmának számunkra kedvezőtlen irányban történő megváltozását jelentik, amelynek következményei

- zavarok a talaj funkcióiban;
- a talaj termékenységének csökkenése;

- talajökológiai feltételek romlása (→ gyengébb növényfejlődés → kisebb biomasz-sza-hozam → kisebb termés);

- kedvezőtlenebb körülmények az agrotechnikai műveletek időben és megfelelő minőségben történő energiatakarékos elvégzéséhez;

- területveszteség és/vagy a terület értékcsökkenése;

- nagyobb termelési ráfordítások (növekvő energia-, vízellátás és vízelvezetés, valamint tápanyagigény stb.);

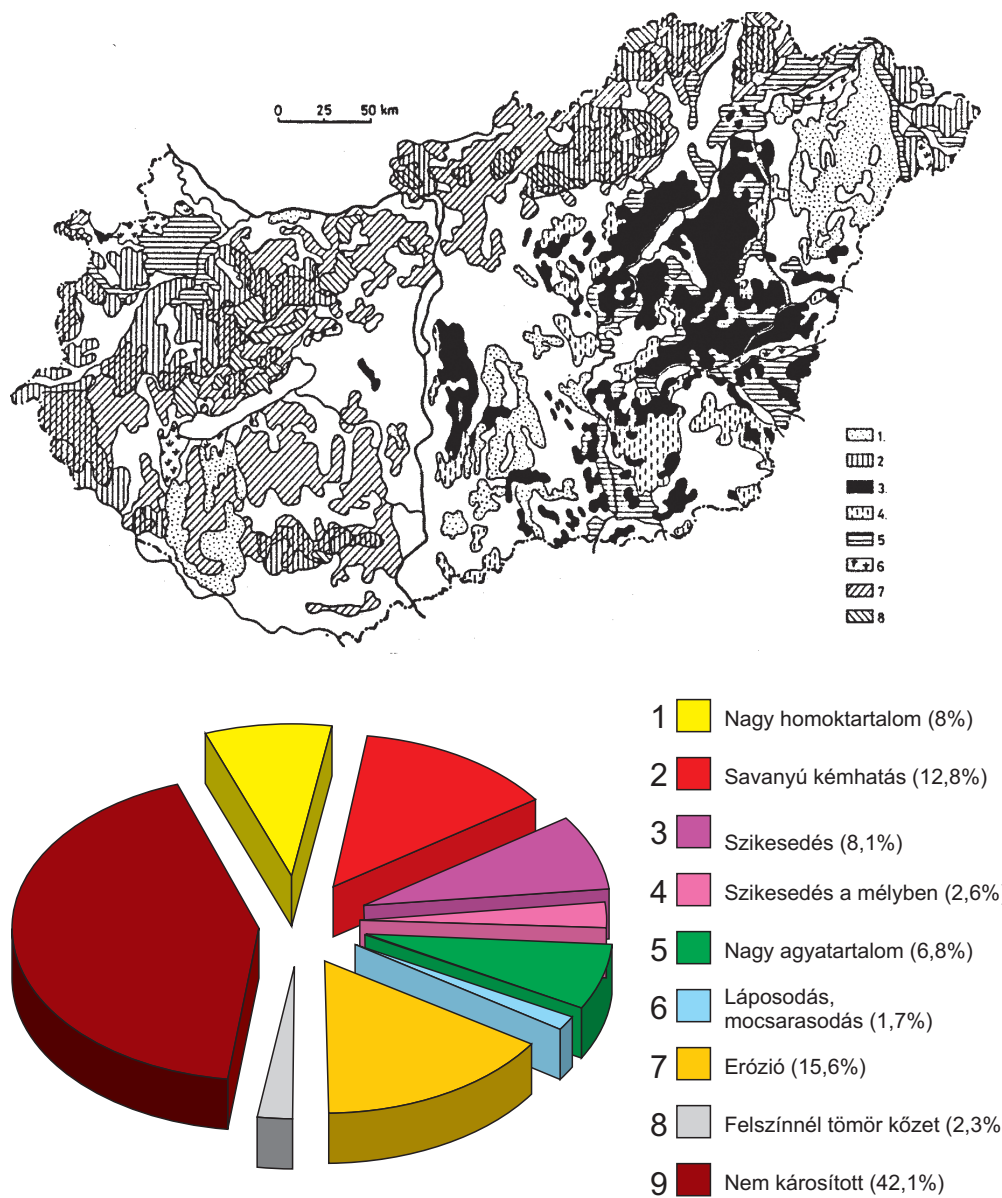
- káros környezeti mellékhatások (például árvíz- és belvízveszély fokozódása; felszíni és felszín alatti vízkészletek szennyezése; tájrombolás stb.).

Talajdegradációs folyamatok természeti okok (pl. klímaváltozás, árvíz, földcsuszamlás stb.) miatt, vagy a sokoldalú emberi tevékenység (ésszerűtlen földhasználat; ipari tevékenység; bányászat; infrastruktúra és településfejlesztés, urbanizáció stb.) közvetlen vagy közvetett hatásaiként; tudatos vagy nem kívánt (ismert, kiszámítható vagy váratlan) következményeiként egyaránt bekövetkezhetnek (Várallyay, 1989, 2006; Németh et al., 2005). A Föld talajait sújtó vagy veszélyeztető talajdegradációs folyamatokról az elmúlt évtizedekben világméretű felmérés készült. A GLASOD (GLObal Assessment of SOil Degradation) Program globális léptékben (1:5M méretarányban) arról nyújtott szemléletes áttekintést, hogy a Föld mely területein fordulnak elő különböző típusú, mértékű, súlyosságú talajdegradációs folyamatok, ezek az érintett terület milyen hányadát érintik, s melyek az adott talajdegradációs folyamat fő okai, kiváltó és befolyásoló tényezői (Oldeman et al., 1990).

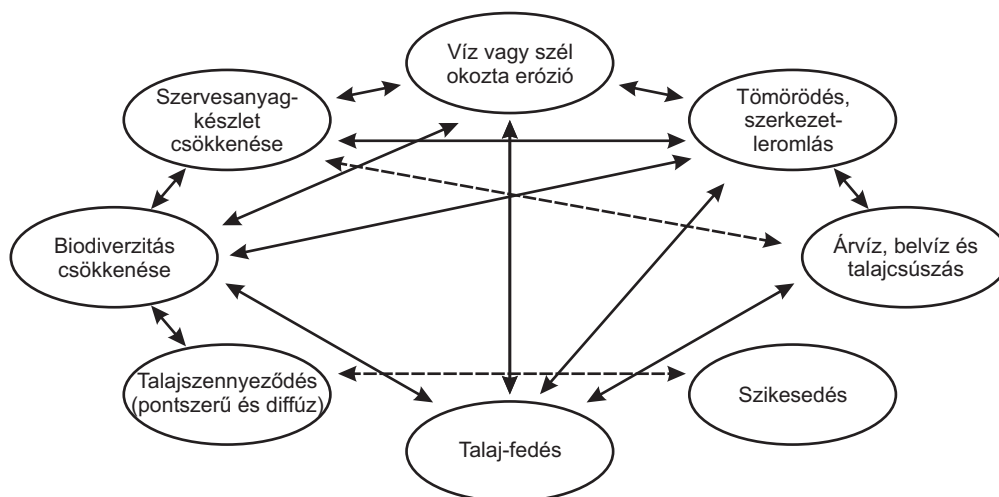
Európa Talajvédelmi Stratégiájának kidolgozása során nyolc talajdegradációs folyamat vizsgálata és „kezelése” kapott prioritást. Ezeket mutatjuk be a 3. ábrán (Várallyay, 2008b).

Sajnos, ezen degradációs folyamatok különböző mértékű káros hatásai Magyarországon is előfordulnak. Ezek közül legfontosabak a következők (Várallyay, 1989, 2004a):

2. ábra



A talajtermékenységet gátló tényezők



Talajdegradációs folyamatok Európában

- (1) Víz és szél okozta erózió (4. ábra).
- (2) Savanyodás.
- (3) Sófelhalmozódás, szikesedés (5. ábra).
- (4) Talajszerkezet leromlása, tömörödés.
- (5) A talaj vízgazdálkodásának szélsőséggé válása.

(6) Biológiai degradáció: kedvezőtlen mikrobiológiai folyamatok, szervesanyag-készlet csökkenése.

(7) A talaj tápanyagforgalmának kedvezőtlen irányú megváltozása.

(8) A talaj pufferképességének csökkenése, talajmérgezés, toxicitás.

A talajdegradációs folyamatok felmérésére és térképezésére az EU integrált nemzetközi programot indított. Ennek folyamatábráját mutatjuk be a 6. ábrán (Várallyay, 2004a; Szabó et al., 1999).

A Program a már degradálódott talajok pontos – helyszíni megfigyelésekre és mérésekre, laboratóriumi vizsgálatokra és távérzékelési információkra alapozott – felmérésén és degradálódásának oknyomozó elemzésén kívül célul tűzte ki a különböző degradációs folyamatok által veszélyeztetett (potenciálisan degradációs) területek azonosítását és lehatárolását is annak érdeké-

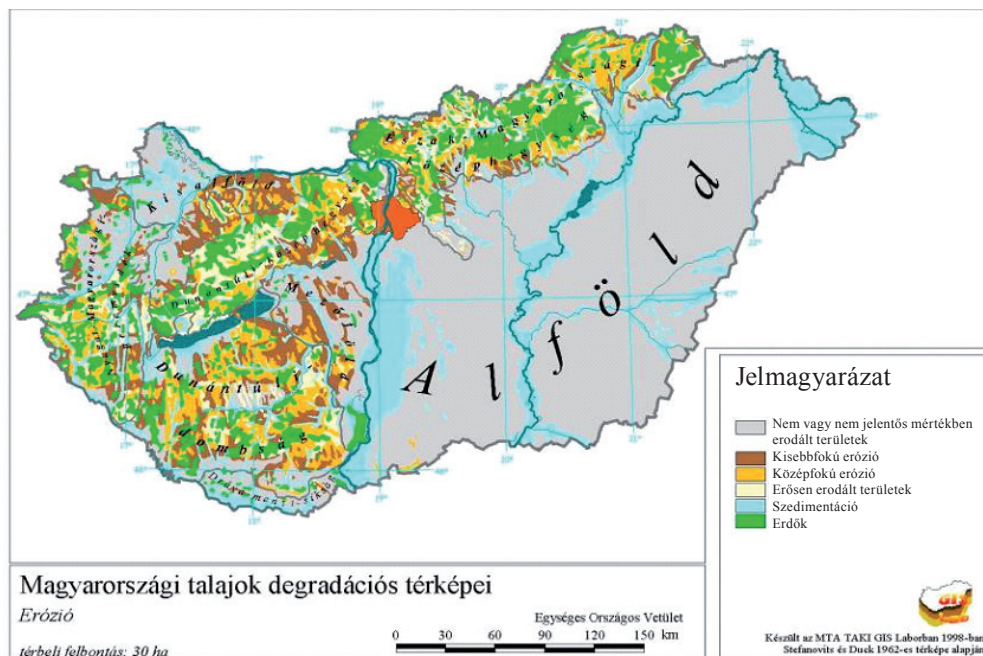
ben, hogy a fenyegető veszélyek elhárítására megfelelő preventív intézkedések történhessenek.

A talajdegradációs folyamatok ugyanis nem szükségszerű és kivédhetetlen következményei az ésszerű és megfelelő földhasználatnak. Az esetek túlnyomó részében megelőzhetők, kivédhetők, vagy legalább bizonyos tűrési határig mérsékelhetők. Ehhez azonban a talaj „megújuló képességének” feltételeit biztosító, tudományosan sokoldalúan megalapozott beavatkozások szükségesek. Ezek kidolgozásához pedig egy olyan korszerű és naprakész talajtani adatbázis szükséges, amely megfelelő információit nyújt a talajok jelenlegi környezeti állapotáról, annak változásáról (monitoring), valamint a talajok környezeti érzékenységről, sérülékenységről (Szabó et al., 1999; Várallyay, 2002c).

Fenti célok megvalósítása érdekében:

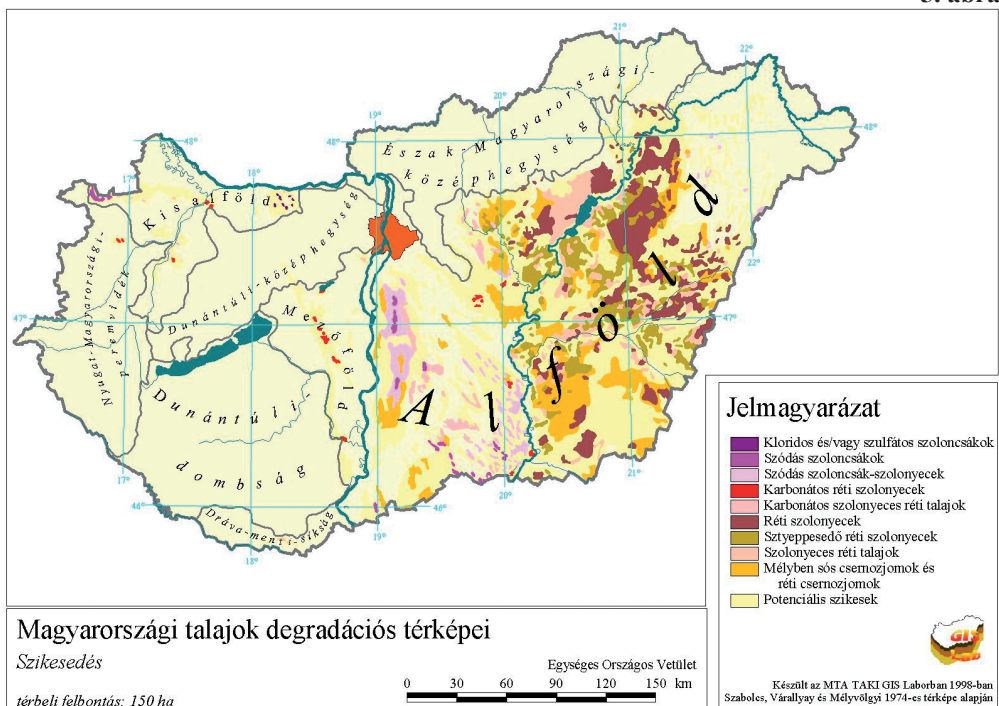
(a) Az országban fellelhető és hozzáférhető talajtani információ (térképek, adatok, leírások) felhasználásával, Magyarország kistáj-katasztere alapján 88 komplex degradációs régiót különítettünk el (Szabó et al., 1999), s megalkottunk egy olyan korszerű

4. ábra



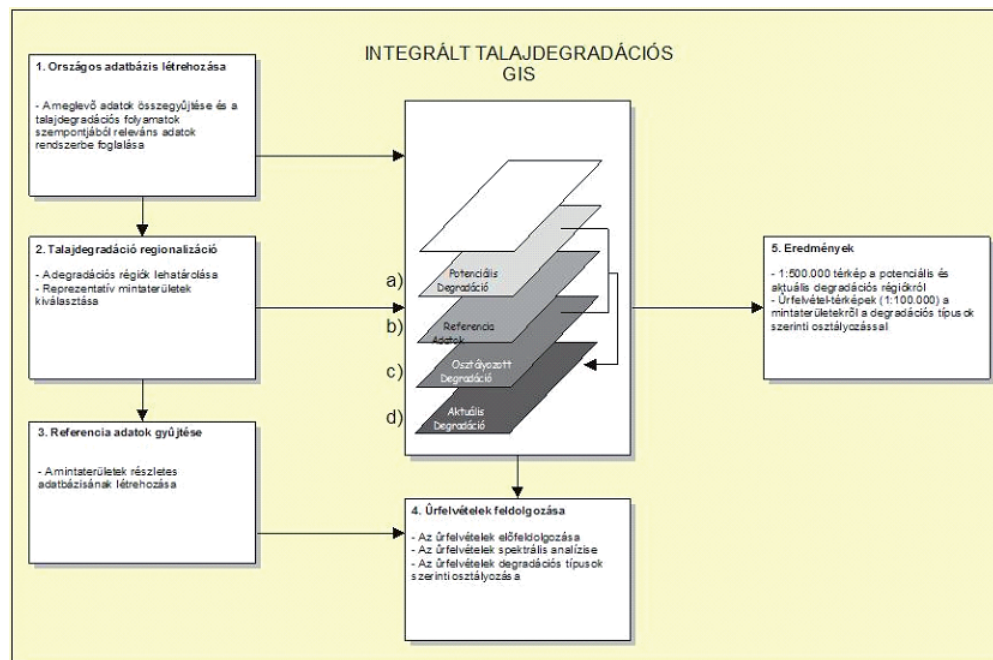
Eróziótérkép

5. ábra



Szikesedéstérkép

6. ábra



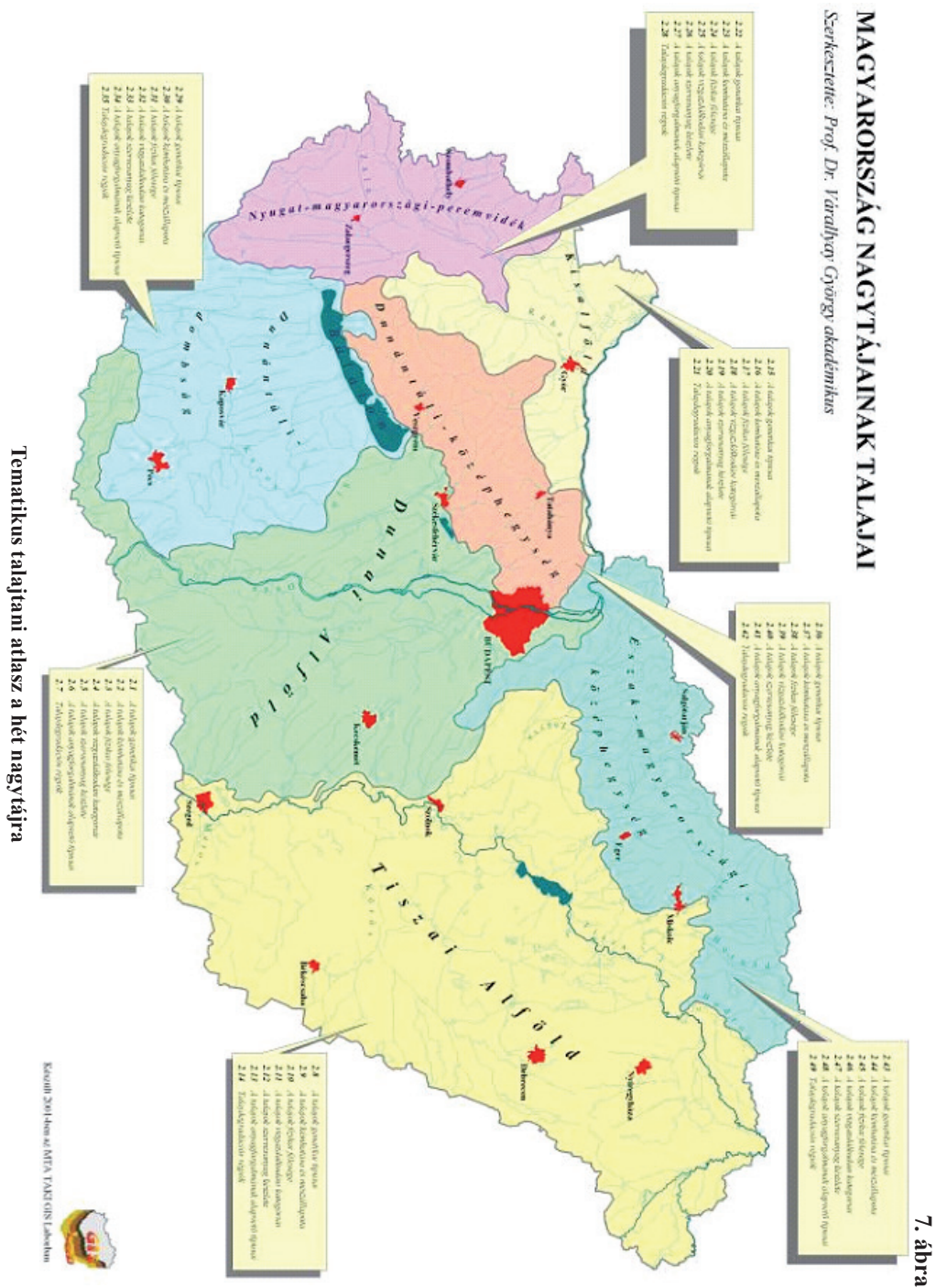
A Phare MERA talajdegradáció-térképezési projekt módszertana

GIS-alapú talajtani adatbázist, s megszerkesztettünk egy olyan *tematikus talajtani atlaszt*, amely hét tematikus térképen ábrázolja a legfontosabb talajtulajdonságokat (talajtípus; kémhatás és mészállapot; fizikai talajfeleség; vízgazdálkodási kategóriák; szervesanyag-készlet; anyagforgalom alapvető típusai; talajdegradációs régiók) az ország hét nagytáján (Dunai Alföld; Tiszai Alföld; Kisalföld; Nyugat-magyarországi-peremvidék; Dunántúli-dombság; Dunántúli-középhegység; Északi-középhegység). Az atlasz tartalmát szemlélteti a 7. ábrán bemutatott térképvázlat.

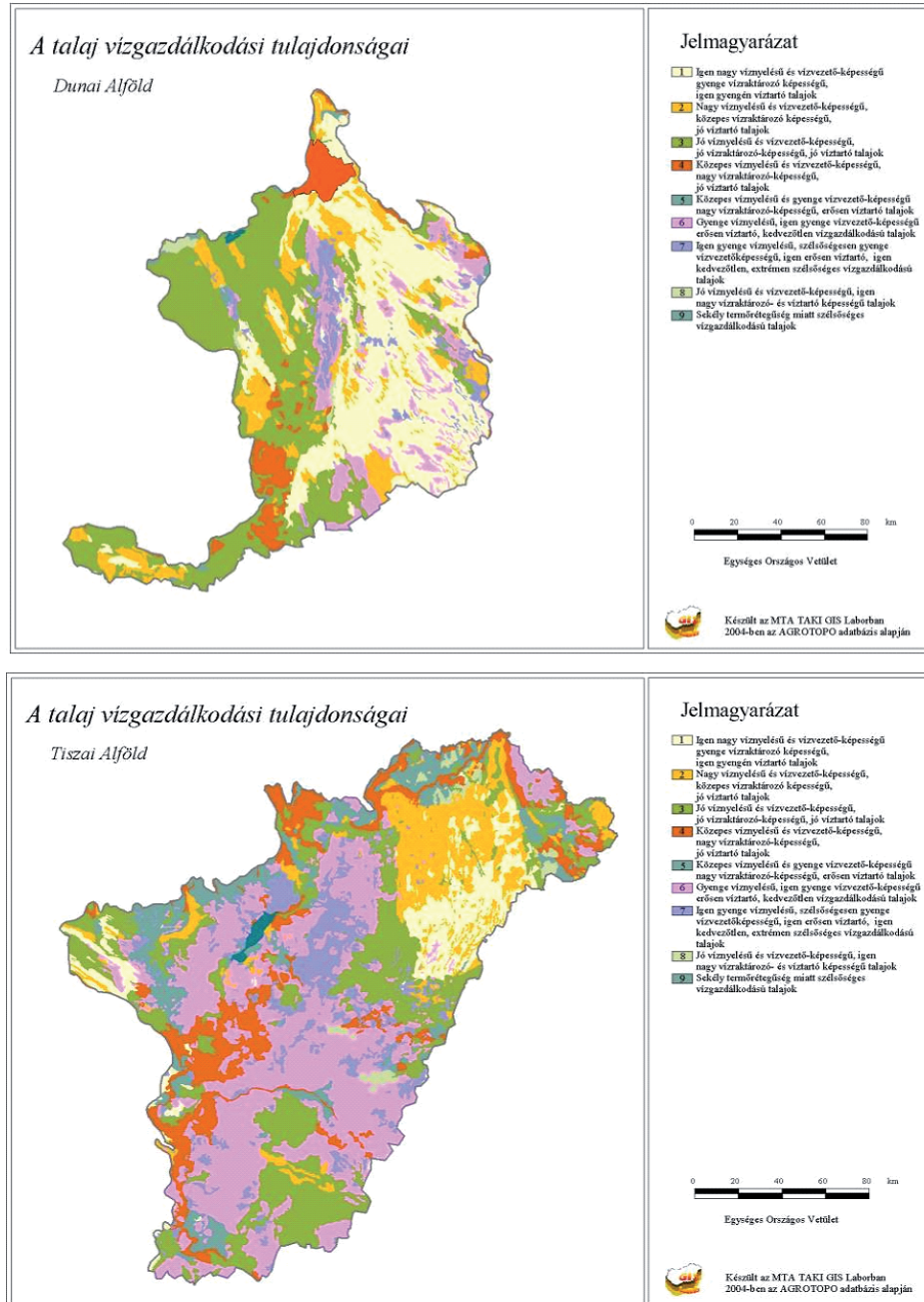
A gazdag tartalomból – példaillusztrációként – az agroökológiai potenciál és a vízgazdálkodás szempontjából megkülönböztetett jelentőségű két nagytáj, a Dunai Alföld és a Tiszai Alföld talajainak vízgazdálkodási tulajdonságait bemutató térképeket közöljük a 8. ábrán (Várallyay, 2010).

(b) Módszert dolgoztunk ki a talaj környezeti érzékenységeinek jellemzésére (Várallyay, 2002). Megállapítottuk, hogy a talajnak (illetve a területnek) nincsen általános *környezeti érzékenysége*, hanem ez mindig egy-egy *adott* stresszhatással, „fenyegetettséggel” szembeni *érzékenységet*, *sérülékenységet*, *tűrőképességet*, *terhelhetőséget*, illetve regenerálódó képességet kifejező *specifikus tulajdonság*. Az ezt szem előtt tévesztő, megalapozatlan általánosítás súlyos következményekhez vezet(het)! Ez viszont azt jelenti, hogy a talaj környezeti állapotának, s az abban bekövetkező változások jellemzésének és az erre épülő intézkedésrendszernek is „veszélyeztetettség-specifikusnak” kell lennie. Ez természetesen nem jelenti azt, hogy a talaj különböző hatásokkal szembeni érzékenysége később nem vonható össze, nem aggregálható, nem integrálható egy *általános* környezetvédelmi szempontú értékelési rendszerbe. Ennek azonban csak a

Szerkesztette: Prof. Dr. Váralhy György akadémikus



8. ábra



A talaj vízgazdálkodási tulajdonságai a Dunai Alföld és Tiszaí Alföld nagytájakon

specifikus mozaikok ismeretében van racionalitása, ellenkező esetben ugyanis nem ad lehetőséget a specifikus környezeti érzékenységek „kezelésére”, csökkentésére, illetve az ezeket célzó – szükségszerűen szintén specifikus – beavatkozások, intézkedések rendszerének tudományosan megalapozott kidolgozására.

Mindezek figyelembevételével szerkesztettük meg a talajok

- víz- és szélerozióval;
- savasodással;
- szikesedéssel;
- szerkezetleromlással és tömörödéssel;
- nitrát-bemosódással

szembeni érzékenységét, sérülékenységét ábrázoló térképsorozat (Várallyay, 1989, 2004a).

A különböző talajdegradációs folyamatokkal szembeni érzékenység megállapításánál és értékelésénél az adott folyamatot meghatározó, befolyásoló és módosító tényezőket, valamint azok kölcsönhatásait elemeztük és vettük figyelembe, valamennyi ez irányú hozzáférhető adat felhasználásával. A térképeken feltüntetett érzékenységi kategóriákat igyekeztünk határértékekkel kvantifikálni, bár arra nem minden esetben volt lehetőség.

A térképsorozatból – ismét csupán illusztrációképpen – két vázlatos térképet mutatunk be a 9. és 10. ábrán a talajok savanyodással, illetve szerkezetleromlással és tömörödéssel szembeni érzékenysége vonatkozásán.

(c) Részletes elemzéseket végeztünk arra vonatkozóan, hogy a négy plauzibilis alap klímaszcenário-variáns (hideg–száraz, hideg–nedves, meleg–száraz, meleg–nedves) bekövetkezése milyen várható hatást gyakorol a fontosabb talajdegradációs folyamatokra. Vizsgálataink eredményeit a 11. ábrán összegeztük, amelyen feltüntettük a degradációs folyamatokat kiváltó fő természeti okokat, illetve legfontosabb emberi beavatkozásokat is (Várallyay – Farkas, 2008; Várallyay, 2002, 2005).

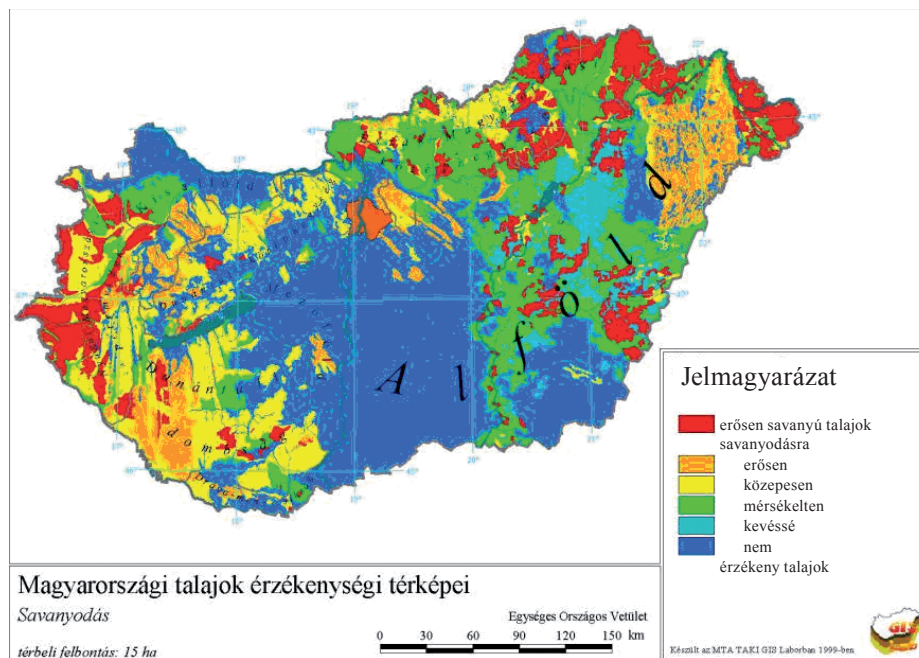
A 11. ábrán összefoglalt hatások csupán becslésszerű, meglehetősen bizonytalan prognózisok. Azok pontosítása és lehetőség szerinti kvantifikálása, valamint a gyakran

ellentétes irányú elsődleges és másodlagos hatások elemzése további kutatási feladat. Csak két példát említünk meg ennek alátámasztására. A globális klímaváltozások prognózisában leggyakrabban előforduló melegedés/szárazodás szcenárió például egyrészt növeli a *sófelhalmozódás és szikesedés* veszélyét, hisz a fokozott párolgás az oldható mállástermékeket szállító és felhalmozó talajoldat fokozott betöményedésének és a sófelhalmozódási folyamatoknak kedvez, amelyet egyre csökkenő mértékben ellensúlyoz vagy mérsékel a kilúgzás. Ugyanakkor azonban a növekvő párolgás következtében süllyed(het) a talajvízszint, s ahol a szikesítő sók fő forrását a felszín közeli, vagy időszakosan felszín közelbe emelkedő talajvíz jelenti (mint például a Kárpát-medence rossz természetes drénviszonyokkal rendelkező alföldjein, így a Magyar Alföldön), ott a talajvízből történő kapilláris transzport sóutánpótlódásának megszűnése vagy radikális csökkenése miatt akár „sziktelenedési” folyamat is bekövetkezhet. Vagy egy másik példa: A fokozódó szárazodás és a kevesebb csapadék csökkenti a víz okozta *talajerózió* veszélyét (ugyanakkor természetesen növeli a szél okozta talajerózió kockázatát). A kevesebb csapadék ugyanakkor korlátozza a növény vízfelvételét, csökkent(het)i egy adott növényállomány vízellátását, fejlődését, talajt borító zártságát, következésképpen annak felszíni lefolyást és talajeróziót megakadályozó vagy mérséklő hatását, s így a kevesebb csapadék is növelheti az eróziós károk mértékét, különösen ha a csapadék hirtelen záporok formájában hull (zúdul) le.

A SZÉLSŐSÉGES VÍZHÁZTARTÁSI HELYZETEK ÉS A TALAJ, MINT HATALMAS TERMÉSZETES VÍZTÁROZÓ

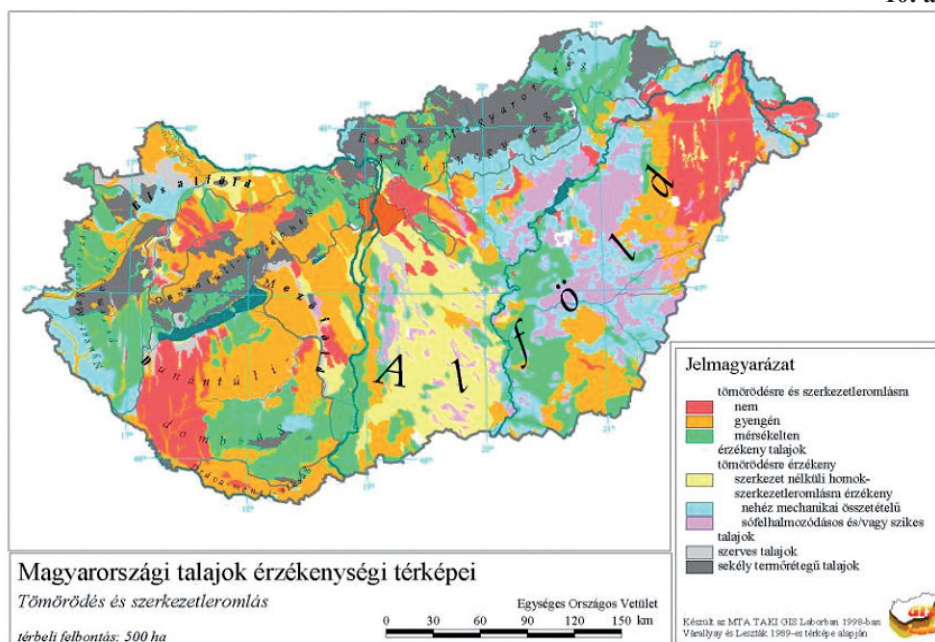
A Föld korlátozott édesvízkészletei egyre keresettebb hiánycikké, stratégiai tényezővé, gyakran nemzetközi konfliktusok forrásává válnak, hisz a korlátozott vízkészletekből

9. ábra



Magyarországi talajok savanyodással szembeni érzékenysége

10. ábra



Magyarországi talajok tömörődéssel és szerkezetleromlással szembeni érzékenysége

11. ábra

Talajdegradációs folyamatok	Jel	Éghajlati scenáriók				Okozó tényezők	
		Hideg + száraz	Hideg + nedves	Meleg + száraz	Meleg + nedves	Természeti okok	Emberi beavatkozások
Víz okozta talajerózió	E	4	1	4	1	1, 2, 3	9, 10, 11, 14
Szél okozta talajerózió	D	3	4	2	4	3	9, 10, 11, 14
Talajsavanyodás	S	3	1	4	1	2, 4	12, 15
Szikesedés	Sz	3	4	1	4	5, 6, 8	13
Fizikai degradáció	F	3	2	2	1	–	10, 14
Szélsőséges vízháztartás, belvízvesztés	V	4	1	4	2	5, 6, 7	11, 13, 14
Biológiai degradáció	B	3	2	2	1	–	11, 16
Kedvezőtlen tápanyagforgalom	A	3	2	2	1	(2, 6)	12
Talajszennyeződés (toxicitás)	T	4	3	3	4	–	16

Okozó tényezők

Természeti okok:

1. Tagolt domborzat
2. Talajképző kőzet
3. Tartós növénytakaró hiánya
4. Avarlebomlás
5. Mélyfekvésű terület
6. Rossz drénviszonyok
7. Magas talajvízszint (nem sós)
8. Magas talajvízszint (sós)

Emberi beavatkozások:

9. Erdőirtás
10. Túllegettetés
11. Irracionális földhasználat
12. Irracionális trágyázás
13. Nem megfelelő öntözés
14. Nem megfelelő talajművelés
15. Savas ülepedés
16. Kémiai talajszennyezés

1 erős

2 közepes

3 gyenge

4 nincs, vagy elhanyagolható

Főbb klímascenáriók hatása a talajdegradációs folyamatokra

egyre nagyobb és sokoldalúbb igényeket kell(ene) kielégíteni (Somlyódy, 2002).

Magyarország természeti adottságai között is nagy biztonsággal előre jelezhető, hogy az életminőség javítását célzó társadalmi fejlődésnek, a multifunkcionális mezőgazdaság- és vidékfejlesztésnek és a környezetvédelemnek egyaránt a víz lesz egyik meghatározó tényezője, a vízfelhasználás hatékonyságának növelése pedig megkülönböztetett jelentőségű kulcsfeladata (Somlyódy, 2002; Várallyay, 2004).

Korlátozott vízkészletek

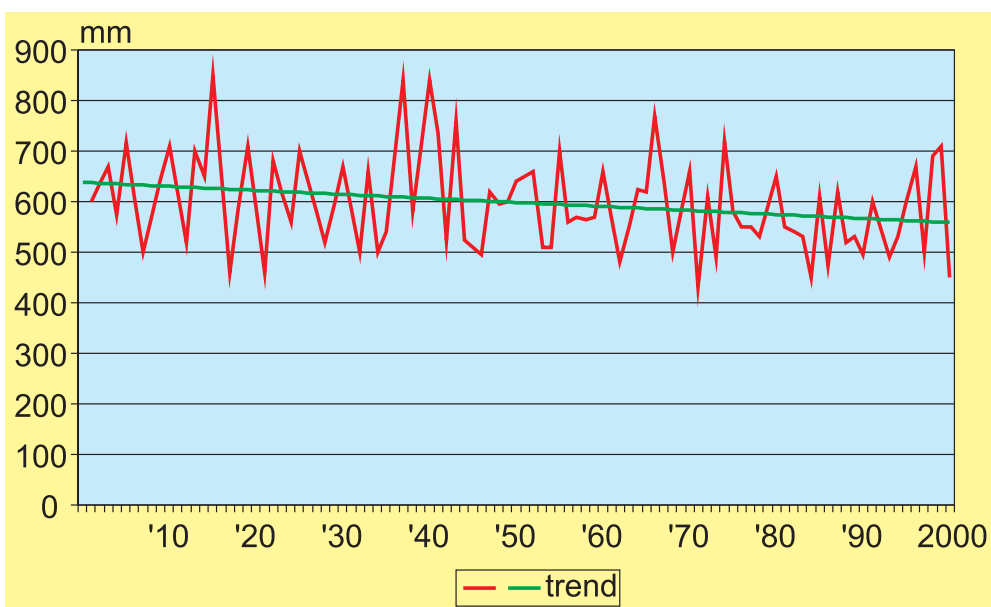
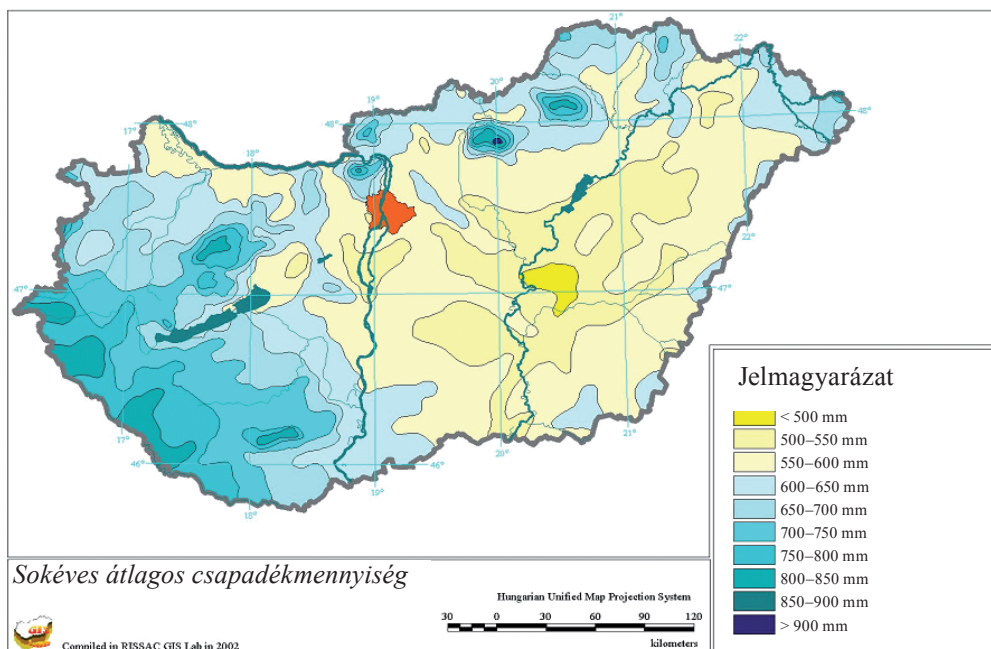
A lehulló csapadék a jövőben sem lesz több (sőt a prognosztizált globális felmelegedés következtében esetleg kevesebb), mint jelenleg, s nem fog csökkenni annak tér- és időbeni változékonysága sem. Mégpedig Magyarországon elsősorban éppen ennek van megkülönböztetett jelentősége. Jól mu-

tatja ezt a 12. ábra, amelyen a sokéves átlagos csapadékmennyiség területi megoszlását, illetve az évi átlagos csapadékmennyiség utolsó évszázadban történő ingadozását tüntettük fel (Varga-Haszonits et al., 2006; Várallyay, 2010).

Az ábrákon bemutatott átlagok elfedik az igazi problémát: a roppant nagy tér- és időbeni variabilitást, a szélsőséges éghajlamot, valamint a kiszámíthatatlan (így nehezen modellezhető, nehezen előre jelezhető) szezonális ingadozást. Az években belüli havi, a hónapokon belüli napi, sőt a napokon belüli még rövidebb időszakra vonatkozó megoszlás ugyanis gyakran ugyanilyen „oszcilláló” ingadozásokat mutat (Várallyay, 2010; Varga-Haszonits et al., 2006).

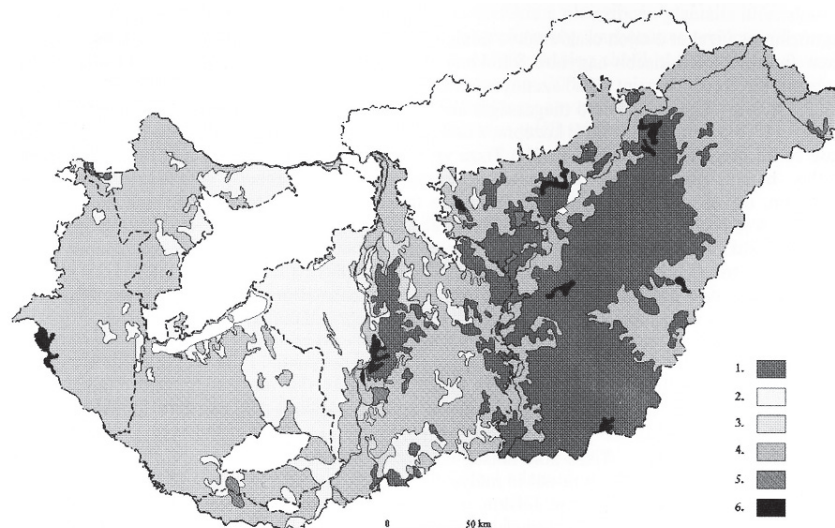
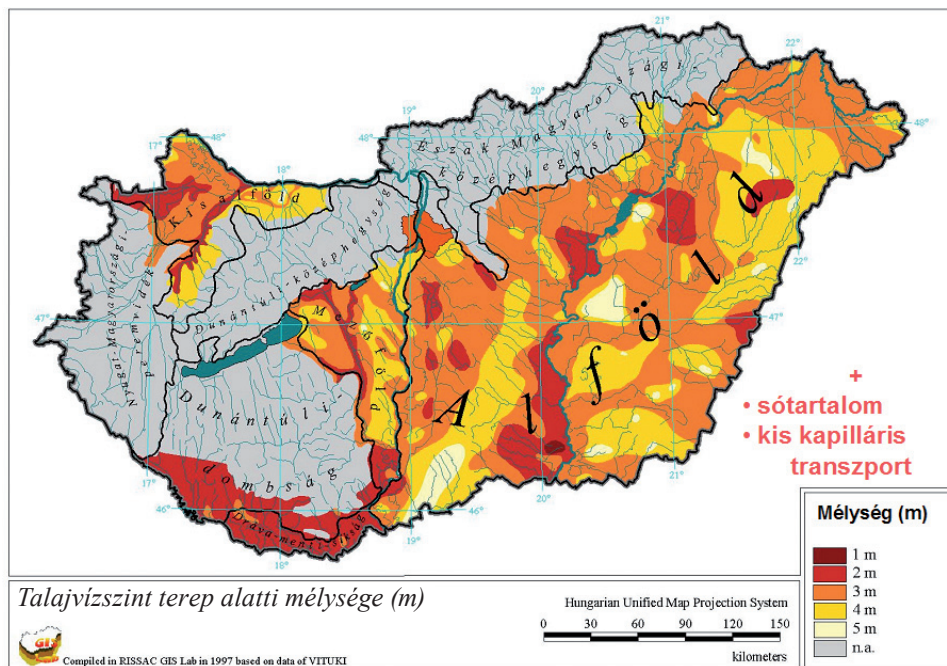
A bizonytalan csapadékviszonyok mellett (miatt) nem lehet számítani a 85–90%-ban szomszédos országokból érkező felszíni vizeink mennyiségének növekedésére sem, külö-

12. ábra



Sokéves átlagos csapadékmennyiség (fent), és éves csapadékösszegek Magyarországon (lent)

13. ábra



4. ábra. A talajvíz kémiai típusai kationok szerint
Jelmagyarázat: 1. nátriumos (Na), 2. magnéziumos (Mg), 3. magnéziumos-kalciumos (Mg-Ca), 4. kalciumos (Ca),
5. kalciumos-nátriumos (Ca-Na), 6. vegyes (Ca-Mg-Na)
Fig. 4. Chemical type of the groundwater by cations

Talajvízszint terep alatti mélysége (fent), és a talajvíz kémiai típusai kationok szerint (lent)

nösen nem a kritikus „kisvízi” időszakokban (Somlyódy, 2002).

Felszín alatti vízkészleteink ugyancsak nem termelhetők ki korlátlanul súlyos környezeti következmények nélkül, mint erre az utóbbi években a már-már katasztrofális következményekkel járó és „sivatagosodási tüneteket” okozó Duna–Tisza közti talajvízszint-süllyedés hívta fel a figyelmet (Pálfi, 2005). Nem is beszélve arról, hogy a hidro(geo)lógiailag zárt Kárpát-medence alföldjei alatt – azok negatív vízmérlege (Cs<P) miatt – az anyagfelhalmozódási folyamatok dominálnak, emiatt a talajvizek nagy sótartalmúak és kedvezőtlen ion-összetételűek (13. ábra), ami felhasználhatóságukat – példamutatón szigorú vízminőség-normáink miatt – nagyon leszűkíti (Várallyay, 2010; Magyarország Nemzeti Atlasza, 1989).

A társadalom egyre sokoldalúbbá váló növekvő vízigényének kielégítését tehát korlátozott és szeszélyes eloszlású vízkészletekből kell megoldani. Ez csak a *vízfelhasználás hatásfokának növelésével* képzelhető el és valósítható meg, amelynek egyik nélkülözhetetlen eleme a *talaj vízháztartásának*, nedvességforgalmának hatékony szabályozása (Pálfi, 2005; Várallyay, 2004, 2007), ami Magyarországon a fenntartható fejlődés egyik kulcskérdése.

Szélsőséges időjárási és vízháztartási helyzetek

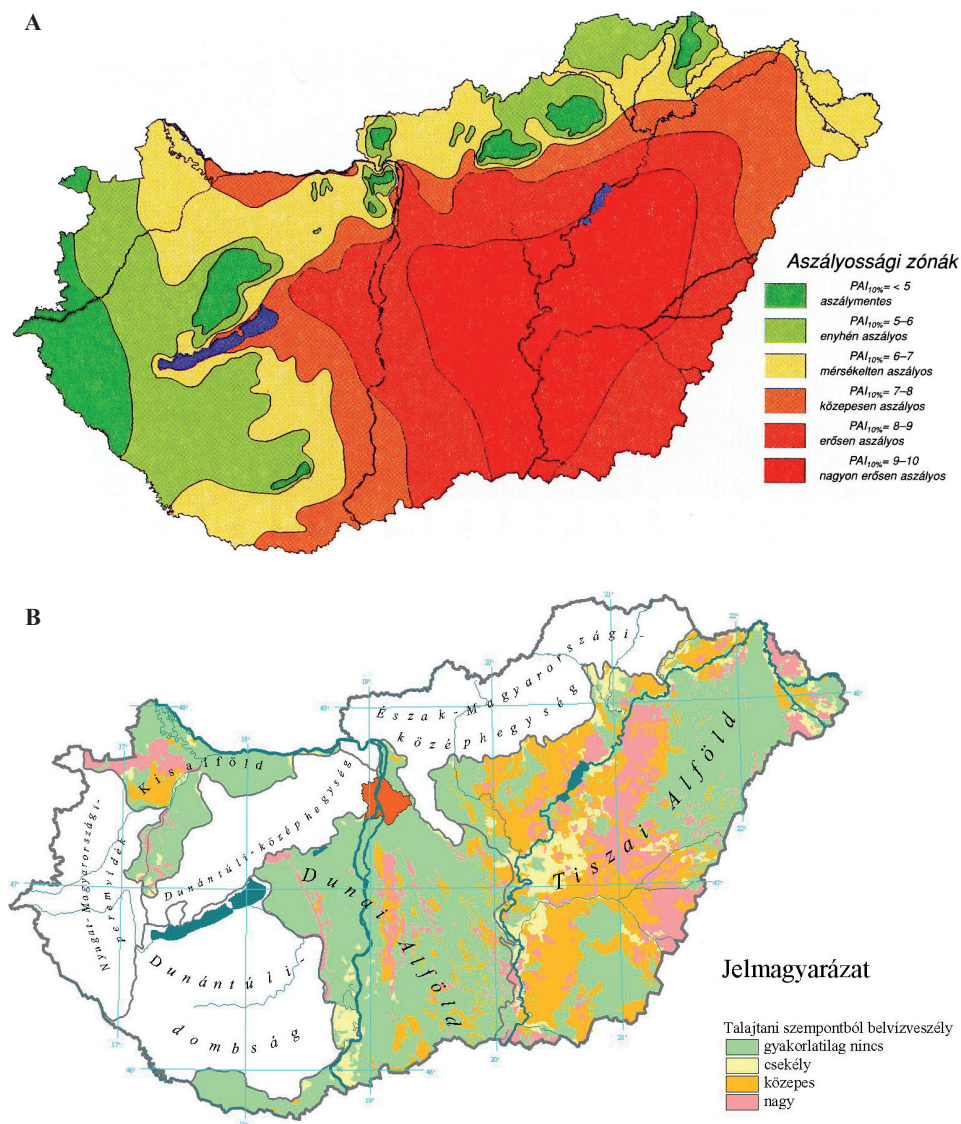
A *klimaváltozás-prognózisok* egybehangzó megállapítása szerint pedig a szélsőséges időjárási és vízháztartási helyzetek bekövetkezésének valószínűsége, gyakorisága, tartama és súlyossága egyaránt növekedni fog, s fokozódnak kedvezőtlen, káros, bizonyos esetekben katasztrofális gazdasági, környezeti, ökológiai, sőt szociális következményei is.

Az utóbbi évek fájdalmasan igazolták a prognózist. Az időjárás, elsősorban a csapadékviszonyok tér- és időbeni változatossága, kiszámíthatatlan szeszélyessége és szélsősége tovább fokozódott. Nem is beszélve az utóbbi években egyre gyakoribbá váló és

egyre nagyobb, gyakran katasztrofális károkat okozó nagyintenzitású záporokról, zivatarokról, viharokról, „eső-függönyökről”, „eső-bombákról”, amelyek során néhány perc, óra, nap alatt zúdul le egy- vagy többhavi csapadékmennyiség, mégpedig egészen rapszodikus területi eloszlásban, foltosan, sávosan, mozaikszerűen. Természetes, hogy ilyen intenzitású csapadéknak (vagy egy hirtelen elolvadó hó olvadákvizének) csak kis hányada képes a talajba szivárogni, nagy része viszont elfolyik a felszínen, s okoz belvizeket, árvizeket, vagy a lejtős felszínekről lezúdulva talajeróziós veszteségeket, sárlavinákat, földcsuszamlásokat; a völgytalpi felhalmozódási területeken pedig feliszapolódási károkat, infrastruktúrát, településeket és létesítményeket vagy ültetvényeket és mezőgazdasági kultúrákat elfedő iszapborítást, csatornafeltöltődést, belvívelöntéseket. Az így lehulló csapadék jelentős része válik az elfolyás, lefolyás, elvezetés, párolgás áldozatává. A csapadékos periódust követő száraz időszakban azután természetesen hiányzik ez a vízmennyiség, s a talajba beszivárgó és ott hasznosan tározódó csekély készlet csak rövid csapadékmentes időszakra képes a növény zavartalan vízellátását biztosítani, megjelenik a szárazság, súlyosabb esetben az aszály, gyakran szintén súlyos károkat okozva. Így adódik aztán gyakran (a lehullott csapadék *összmennyisége* által indokoltan) lényegesen többször és nagyobb mértékben) zavar a növények vízellátásában, s van vagy lenne szükség a hiányzó víz pótlására, illetve a káros víztöbblet eltávolítására. Mégpedig gyakran ugyanabban az évben, ugyanazon a területen. Jól mutatja ezt a 14. ábrán bemutatott „aszályérzékenység térkép” és „belvíz-veszélyeztetettség térkép” kritikus térségeinek területi egybeesése (Várallyay, 2010a; Varga-Haszonits et al., 2006).

A *szélsőséges vízháztartási helyzetek* (vízfelesleg: árvíz, belvíz, túlnedvesedés; vízhiány: aszály) fő okai a légköri csapadék nagy és szeszélyes tér- és időbeni variabilitásán, szélsőségeségén túlmenően az eső:hó arány és a hóolvadás körülményei; a válto-

14. ábra



Szélsőséges vízháztartási helyzetek Magyarországon.

A. Aszályérzékenység térkép

B. Belvíz-veszélyeztetettség térkép

zatos makro-, mezo- és mikrodomborzat; a talajviszonyok; a növényzet; és a nem megfelelő talajhasználat. Következmenyei pedig vízveszteség (felszíni lefolyás, párolgás, mélybe szivárgás), talajveszteség (szerves anyag, növényi tápanyagok); bióta-károsodás és biodiverzitás-csökkenés; növénypusztulás vagy károsodás, termésveszteség (mennyiség, minőség); energiaveszteség (Várallyay, 1985, 2010a).

A talaj mint hatalmas potenciális természetes víztározó

Magyarország természeti adottságai között megkülönböztetett jelentősége van annak, hogy *a talaj az ország legnagyobb potenciális természetes víztározója*. 0–100 cm-es rétegének pórusterébe *elvéleg* a lehulló átlagos csapadékmennyiség közel kétharmada egyszerre beférne, mint ezt a talaj vízgazdálkodásának korszerű jellemzésére kidolgozott helyszíni felvételezési–vizsgálati–térképezési–adatértékelési–monitoring rendszerünk adatbázisa alapján megállapítottuk (Várallyay, 2005a, 2007). Hogy e kedvező adottság ellenére az ország (első-sorban az Alföld) talajaira mégis az előbbiekben bemutatott *szélsőségesség*, illetve az arra való hajlam a jellemző, annak az az oka, hogy talajaink 43%-a különböző okok miatt kedvezőtlen, 26%-a közepes, s csak (?) 31%-a jó vízgazdálkodású (Várallyay, 2004, 2010). A 15. ábrán egyrészt a hazai talajok legfontosabb fizikai–vízgazdálkodási tulajdonságaira (fizikai talajféleség; vízbefogadó és víztartó képesség, teljes és szabadföldi vízkapacitás, holtvíztartalom, hasznosítható vízkészlet; víznyelő képesség; hidraulikus vezetőképesség) vonatkozó kategóriarendszer térképét; másrészt a jó, közepes és kedvezőtlen vízgazdálkodású talajok megoszlását mutatjuk be, mégpedig azok okainak feltüntetésével (Várallyay *et al.*, 1980b; Várallyay, 2007).

A nagy tározótér – szélsőséges vízháztartás ellentmondás alapvető oka, hogy a talaj potenciális nedvességtározó terének *hasznos*

kihasználását igen nagy területen korlátozzák az alábbi tényezők (Várallyay, 2005a, 2008):

(A) A talaj felszínére jutó víz talajba szivárgását akadályozó tényezők

(a) a víz tárolására egyébként alkalmas pórustér vízzel telítettsége („tele palack effektus”), amit egy előző vízforrás (léggöri csapadék, hóolvadék, felszínen odafolyó víz, megemelkedő szintű talajvíz, öntözővíz) előzetesen már feltöltött;

(b) a felszíni talajréteg fagyott volta („befagyott palack effektus”), pl. olyan esetben, mikor a hó fagyott talaj felszínére hull, majd gyors olvadását követően az olvadék víz nem tud a fagyott (s így vízátnemeresztő) felszíni talajba szivárogni;

(c) kis vízáteresztő képességű réteg a talaj felszínén vagy felszínközélen („ledugaszolt palack effektus”); lásd 15. ábra.

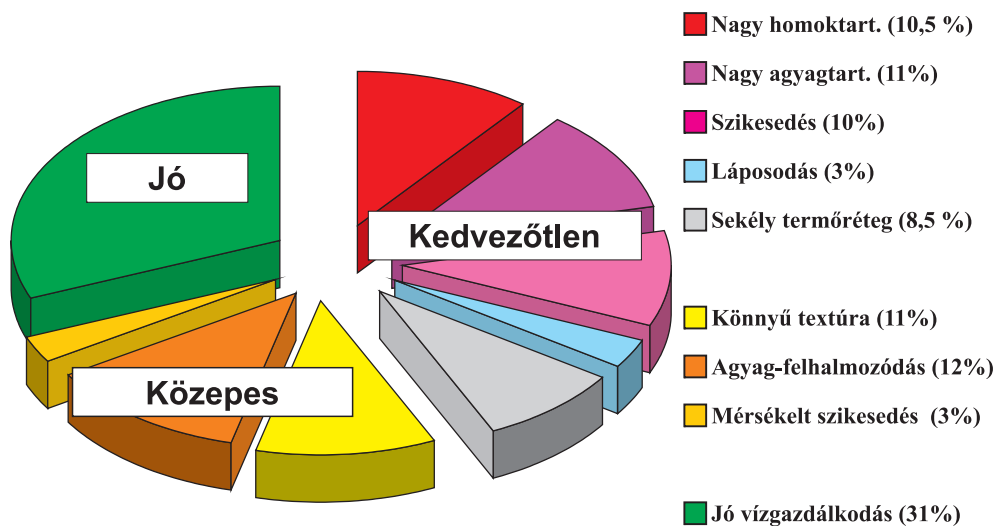
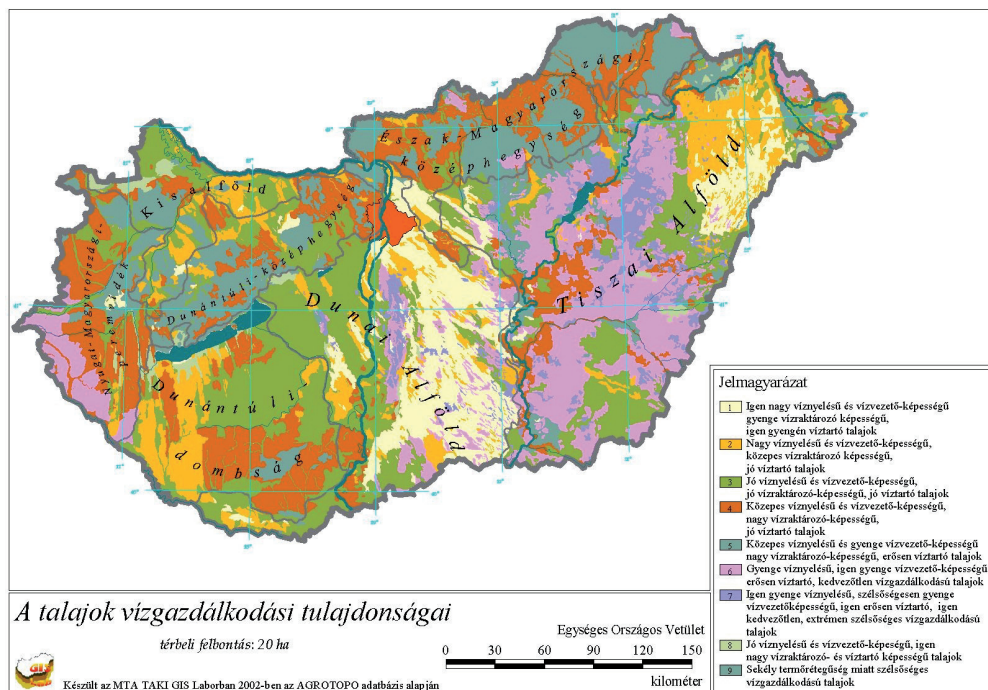
Ilyen területeken a talaj még a hosszabb-rövidebb belvízborítás alatt sem ázik be mélyen, nem „használja ki” víztároló kapacitását, növekszenek a felszíni lefolyási és párolgási veszteségek. Ezért fordul elő azután egyre gyakrabban az a helyzet, hogy a belvizek természetes eltűnése vagy mesterséges eltüntetése után az aszályos nyári időszakban ugyanazokon a területeken komoly aszálykárok jelentkeznek, ami sajnos jellemzője az ország alföldi területeinek.

(B) A talajba szivárgott víz hasznos (növények számára felvehető formában történő) tározását korlátozó kis víztartó képesség (homoktalajok: „lyukas palack effektus”) vagy nagy holtvíztartalom (agyagtalajok): kis hasznosítható vízkészlet → aszályérzékenység.

A talaj vízkészletének növények általi hasznosíthatóságát korlátozó tényezőket foglaltuk össze a 16. ábrán (Várallyay, 2004).

Vizsgálatokat folytattunk arra vonatkozóan is, hogy a négy alap klímaváltozás milyen várható hatással lesz a talaj nedvességforgalmára. Ez irányú – egyelőre kvalitatív becslés jellegű – elemzési eredményeinket foglaltuk össze a 17. ábrán (Várallyay, 2002; Várallyay – Farkas, 2008).

15. ábra

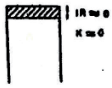


Magyarországi talajok vízgazdálkodása és annak okai

16. ábra

1. Lassú (gátolt) talajba szivárgás

A) Vizátnemeresztő réteg (kéreg) a talaj felszínén



- sókkal összecementált kéreg (nátriumsók, gipsz, mész)
- helytelen agrotechnikával összetömörített réteg
 - túlművelés, nehéz erőgépek
 - helytelen öntözés

B) Sekély beázási réteg (kis vízraktározó képesség)

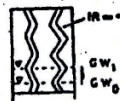


- szilárd kőzet
- tömör „padok” (vaskőfok), orstein mészkőfok, összecementált kavics stb.)
- kicserélhető Na^+ , agyag, CaCO_3 vagy más anyagok által összecementált réteg
- helytelen művelés következtében kialakuló réteg („eketalp-réteg”)

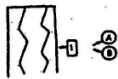
⇒ Szélsőséges vízgazdálkodás

túlnedvesedés, aerációs problémák
belvízvesztély
felszíni lefolyás, vízeróziós károk
aszály- (szárazság) érzékenység

2. Repedezés (duzzadás-zsugorodás)

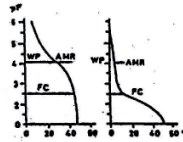


- Száraz állapotban (zsugorodás, repedezés)
- szivárgási veszteségek
 - emelkedő talajvízszint
 - túlbő nedvességviszonyok (túltelítődés, belvízvesztély)
 - a talajvízből történő másodlagos sófelhalmozódás, szikesedés (pangó, sós talajvíz esetén)
 - párolgási veszteségek (mélyebb rétegek kiszáradása)



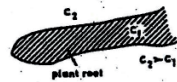
- Nedves állapotban (duzzadás)
- nagy agyagtartalom
 - táguló rétegrácsú (duzzadó) agyagásványok nagy mennyisége
 - nagy Na^+ -telítettség (kicserélhető Na^+ -tartalom)

3. Kis hasznosítható vízkészlet



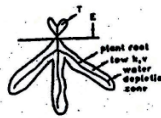
1. Kis hasznosítható vízkészlet ($DV = VK + HV$)

- nagy agyagtartalom
- elemi szemcsék erős diszpergálódása
- erős lúgosság, nagy Na^+ -tartalom
- rossz talajszerkezet
- igen kis agyagtartalom



2. Kis hasznosítható vízkészlet (a nagy ozmózispotenciál, Ψ miatt)

- nagy sótartalom
 $\Psi_s = 0,32 (0,8 + 0,109 C_1)^{1,03}$
 $C_1 = \text{Cl}^-$ konc., me/liter



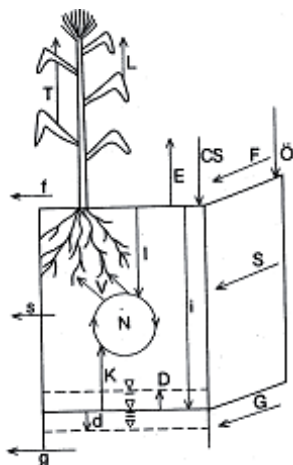
3. Kis transzportoefficiensek (k, D)

hervadás: $V < ET$

- kis nedvességtartalom
- nagy víztartó képesség
- erős lúgosság, nagy Na^+ -tartalom
- rossz talajszerkezet

A növény vízellátását korlátozó talajtani tényezők

**A talaj nedvességforgalmának tényezői
és a feltételezett globális klímaváltozás-helyzet hatása
a talaj vízháztartására**



Tényezők:

- $CS+Ö$ = a talaj felszínére jutó csapadék- és öntözővíz,
 F = felszíni odafolyás,
 S = háromfázisú zónában végbemenő odaszivárgás,
 G = horizontális talajvíz odaszivárgás,
 L = közvetlen párolgás a növény felületéről (intercepció),
 T = a növény párologtatása (transzspiráció),
 E = közvetlen párolgás a talaj felszínéről (evaporáció),
 f = felszíni elfolyás,
 s = a háromfázisú zónában végbemenő elszivárgás,
 g = horizontális talajvíz elszivárgása,
 I = a talajba beszivárgó víz mennyisége,
 K = a talajvízből történő felfelé irányuló kapilláris vízmozgással a talajvízszint feletti rétegekbe jutó víz mennyisége,
 i = a talajba beszivárgó víz talajvízbe jutó és azt tápláló hányada,
 v = a növény vízfelvétele, közvetve csökkenti,
 d = a talajvízszint süllyedése (a K csökkentésén keresztül).

Tényező	Hideg és nedves	Hideg és száraz	Meleg és nedves	Meleg és száraz
	éghajlati változat (szcenárió)			
CS	N	CS	N	CS
F, f	N	CS	N	CS
S, s	-	-	-	-
G, g	n	cs	n	CS
I	N	cs	N	CS
i	n	CS	(n)	CS
N	n	cs	(N)	CS
E	CS	E	E	N
T	CS	E	n	N
D	n	-	(N)	-
d	-	n	-	N

A tényezőkben bekövetkező változás:

N = erős növekedés; n = gyenge növekedés; E = egyensúly; CS = erős csökkenés; cs = gyenge csökkenés

A talaj kedvező környezeti állapotának fenntartása, megóvása, vagy éppen kialakítása érdekében is mindent meg kell tenni azért, hogy a talaj felszínére jutó víz minél nagyobb hányada szivárogjon be a talajba, s tározzódjon ott, növények számára hasznosítható formában. Erre megfelelő talajhasználati és agrotechnikai módszerek állnak rendelkezésre, csak az adott körülményekhez kell azokat – termőhely-specifikusan – adaptálni és végrehajtani. Ezek az intézkedések – a ta-

laj potenciális vízraktározó képességének minél teljesebb körű kihasználásával – egyaránt csökkentik az aszályérzékenység és a belvízvesztés kockázatát, mérséklők azok kedvezőtlen gazdasági, környezeti, társadalmi hatásait, káros következményeit is.

A talaj vízháztartás-szabályozása tehát egyaránt nélkülözhetetlen eleme a fenntartható talajhasználatnak, a korszerű vízkészlet-gazdálkodásnak, az eredményes környezetvédelemnek, sőt a vidékfejlesztésnek is.

FORRÁSMUNKÁK JEGYZÉKE

- (1) BIRKÁS M. – GYURICZA Cs. (szerk.) (2004): Talajhasználat – Műveléshatás – Talajnedvesség. SzIE MKK, Quality-Press Nyomda & Kiadó Kft., Gödöllő (2) CSETE L. – VÁRALLYAY Gy. (szerk.) (2004): Agroökológia (Agroökoszisztémák környezeti összefüggései és szabályozásának lehetőségei). „AGRO-21” Füzetek, 37. sz. (3) HARNOS Zs. – CSETE L. (szerk.) (2008): Klímaváltozás: környezet–kockázat–társadalom. Szaktudás Kiadó Ház, Budapest (4) LÁNG I. – CSETE L. – HARNOS Zs. (1983): A magyar mezőgazdaság agroökológiai potenciálja az ezredfordulón. Mezőgazdasági Kiadó, Budapest (5) LÁNG I. – CSETE L. – JOLÁNKAI M. (szerk.) (2007): A globális klímaváltozás: hazai hatások és válaszok. A VAHAVA jelentés. Szaktudás Kiadó Ház, Budapest (6) Magyarország Nemzeti Atlasza, 1989. Magyar Tudományos Akadémia, Budapest (7) NÉMETH T. – STEFANOVITS P. – VÁRALLYAY Gy. (2005): Országos Talajvédelmi Stratégia tudományos háttere. Tájékoztató: Talajvédelem. Környezetvédelmi és Vízügyi Minisztérium, Budapest (8) OLDEMAN, L. R. – HAKELING, R. T. A. – SOMBROEK, W. G. (1990): World Map of the Status of Human-induced Soil Degradation (GLASOD). ISRIC–UNEP, Wageningen (9) PÁLFAI I. (2005): Belvizek és aszályok Magyarországon (Hidrológiai tanulmányok). Közlekedési Dokum. Kft., Budapest (10) SOMLYÓDY L. (2002): A hazai vízgazdálkodás stratégiai kérdései. Magyar Tudományos Akadémia, Budapest (11) STEFANOVITS P. (1992): Talajtan. Mezőgazd. Kiadó, Budapest (12) SZABOLCS I. – VÁRALLYAY Gy. (1978): A talajok termékenységét gátló tényezők Magyarországon. Agrokémia és Talajtan, 27. 181–202. pp. (13) SZABÓ J. ET AL. (1998): Integration of remote sensing and GIS techniques in land degradation mapping. Agrokémia és Talajtan, 47. 63–75. pp. (14) VÁRALLYAY Gy. (1985): Magyarország talajainak vízháztartási és anyagforgalmi típusai. Agrokémia és Talajtan, 34. 267–298. pp. (15) VÁRALLYAY Gy. (1988): Talaj, mint a biomasza-termelés aszályérzékenységeinek tényezője. Vízügyi Közlemények, 70. (3) 46–68. pp. (16) VÁRALLYAY Gy. (1989): Soil degradation processes and their control in Hungary. Land Degradation and Rehabilitation, 1. 171–188. pp. (17) VÁRALLYAY Gy. (2002a): Climate change and soil processes. Időjárás, 106. (3–4) 113–121. pp. (18) VÁRALLYAY Gy. (2002b): A talaj multifunkcionalitásának szerepe a jövő fenntartható mezőgazdaságában. Acta Agron. (50 éves jubileumi különszám), 13–25. pp. (19) VÁRALLYAY Gy. (2002c): A talajok környezeti érzékenységeinek értékelése. Agrártudományi Közlemények, Debreceni Egyetem, 9. 62–74. pp. (20) VÁRALLYAY Gy. (2003): A mezőgazdasági vízgazdálkodás talajtani alapjai. Egyetemi jegyzet. FVM Vízgazd. Osztály, Budapest–Gödöllő (21) VÁRALLYAY Gy. (2004a): Talaj az agro-ökoszisztémák alap-eleme. „AGRO-21” Füzetek, 37. 33–49. pp. (22) VÁRALLYAY Gy. (2004b): A talaj vízgazdálkodásának agroökológiai vonatkozásai. „AGRO-21” Füzetek, 37. 50–70. pp. (23) VÁRALLYAY Gy. (2005): Klímaváltozások lehetséges talajtani hatásai a Kisalföldön. „AGRO-21” Füzetek, 43. 11–23. pp. (24) VÁRALLYAY Gy. (2005a): Magyarország talajainak vízraktározó képessége. Agrokémia és Talajtan, 54. 5–24. pp. (25) VÁRALLYAY Gy. (2006): Soil degradation processes and extreme soil moisture regime as environmental problems in the Carpathian Basin. Agrokémia és Talajtan, 55. 9–18. pp. (26) VÁRALLYAY Gy. (2007): A talaj, mint legnagyobb potenciális természetes víztározó. Hidrológiai Közlöny, 87. (5) 33–36. pp. (27) VÁRALLYAY Gy. (2008): A talaj szerepe a csapadék-szélsőségek kedvezőtlen hatásainak mérséklésében. „KLÍMA-21” Füzetek, 52. 57–72. pp. (28) VÁRALLYAY Gy. (2008b): Talajvédelmi Stratégia az Európai Unióban és Magyarországon. In: MTA Agrártud. Oszt. 2007. évi tájékoztatója. MTA, Budapest, 168–173. pp. (29) VÁRALLYAY Gy. (2010): A talaj, mint víztározó; talajszárazodás. „KLÍMA-21” Füzetek, 59. 3–25. pp. (30) VÁRALLYAY Gy. (2010a): Talajdegradációs folyamatok és szélsőséges vízháztartási helyzetek, mint környezetvédelmi problémák a Kárpát-medencében. In: Szabó B. – Tóth Cs. (szerk.): VI. Kárpát-medencei Környezettudományi Konferencia, 2010. április 22–24. Bessenyei György

Könyvkiadó, Nyíregyháza, 41–50. pp. (31) VÁRALLYAY GY. – FARKAS CS. (2008): A klímaváltozás várható hatásai Magyarország talajaira. In: Harnos Zs. – Csete L. (szerk.): Klímaváltozás: környezet–kockázat–társadalom. Szaktudás Kiadó Ház, Budapest, 91–129. pp. (32) VÁRALLYAY GY. ET AL. (1979): Magyarország termőhelyi adottságait meghatározó talajtani tényezők 1:100 000 méretarányú térképe. I. Agrokémia és Talajtan, 28. 363–384. pp. (33) VÁRALLYAY GY. ET AL. (1980a): Magyarország termőhelyi adottságait meghatározó talajtani tényezők 1:100 000 méretarányú térképe. II. Agrokémia és Talajtan, 29. 35–76. pp. (34) VÁRALLYAY GY. ET AL. (1980b): Magyarországi talajok vízgazdálkodási tulajdonságainak kategóriarendszere és 1:100 000 méretarányú térképe. Agrokémia és Talajtan, 29. 77–112. pp. (35) VÁRALLYAY GY. ET AL. (2009): Magyarország talajainak állapota (a talajvédelmi információs és monitoring rendszer (TIM) adatai alapján). Földművelésügyi Minisztérium Agrárkörnyezetvédelmi Főosztály, Budapest (36) VARGA-HASZONITS Z. ET AL. (2006): Az éghajlati változékonyság és az agroökoszisztémák. NyME Mezőgazdaság- és Élelmiszertudományi Kar, Matematika–Fizika Tanszék, Mosonmagyaróvár

A RENDSZERES TALAJBOLYGATÁS HATÁSA A TALAJ SZÉN-DIOXID-KIBOCSÁTÁSÁRA BARACKÜLTETVÉNYBEN

TÓTH ESZTER – FARKAS CSILLA

Kulcsszavak: szén-dioxid-emisszió, bolygatatlan talajminta, klímaszoba, barackültetvény, talaj-vízpotenciál, sorközművelés.

ÖSSZEFOGLALÓ MEGÁLLAPÍTÁSOK, KÖVETKEZTETÉSEK, JAVASLATOK

Munkánkban a talaj szén-dioxid-kibocsátása, nedvességtartalma és nedvességpotenciálja közötti összefüggést vizsgáltuk a barackültetvény gyepvel borított és rendszeresen tárcsázott soraiban abból a célból, hogy a művelés következtében megváltozott talajszerkezeti elemek talajlégzésre gyakorolt hatását is figyelembe vegyük. Ezért új mérési módszert dolgoztunk ki és teszteltünk klímaszobában, kontrollált körülmények között. A mintavételezéskor kezelésként 23 darab, megközelítőleg 800 cm³ térfogatú talajmintát vettünk a talaj felső 10 cm-es rétegéből, melyek közül 3-3 mintát a térfogattömeg és a kiindulási nedvességtartalom meghatározásához, 20-20 mintát pedig inkubációs vizsgálatokhoz használtunk fel. A talaj vízviesszatartó görbét 100 cm³-es bolygatatlan talajmintákból határoztuk meg, három ismétlésben. A szemcseösszetétel, a tápanyagtartalom és a biológiai aktivitást jellemző talajtulajdonságok meghatározása bolygatatlan mintákból történt. A talaj szén-dioxid-emisszióját a talaj nedvességtartalmának és vízpotenciáljának függvényében vizsgáltuk. E célból tizenkét alkalommal vettünk levegőmintát a minták feletti zárt légrétegből a mérés kezdetekor és három óra elteltével úgy, hogy a minták nedvességtartalma minél szélesebb spektrumot fedjen le. A kezelések közötti különbségek kimutatására egytényezős varianciaanalízist használtunk 5%-os szignifikancia-szinten.

Az eredményeket a főbb talajbiológiai jellemzők ismeretében értelmeztük. Megállapítható, hogy a gyakorlatilag bolygatatlan, gyeppel borított talajban mért talajjellemzők alapján ebben a kezelésben magasabb a tápanyagtartalom és a biológiai aktivitás. A bolygatatlan kezelésben (Gy) mért emisszió-értékek valamennyi nedvességtartományban szignifikánsan nagyobbak voltak, mint a tárcsás kezelésben, kivéve a legnedvesebb talajállapotot (>45 v%), ahol a különbség nem volt szignifikáns. A talajnedvesség-tartalom növekedésével párhuzamosan a talajlégzés emelkedését figyeltük meg, egészen a szabadföldi vízkapacitáshoz tartozó nedvességtérig eléréséig. A telítettségi nedvesség-állapot közelében enyhe csökkenést tapasztaltunk az emisszió-értékekben. Eredményeink egyértelműen mutatják a talaj CO₂-kibocsátása és a talaj vízpotenciálja, valamint szerkezete közötti szoros kapcsolatot.

BEVEZETÉS

A szén-dioxid, mint az egyik legjelentősebb üvegházgáz, fontos szerepet játszik a klímaváltozásban, és a becslések szerint a teljes üvegházhatás hatvan százalékában járul hozzá a Föld klímájának melegeedéséhez. Ennek köszönhetően világszerte egyre növekvő érdeklődéssel fordulnak a szén-dioxid forrásainak és elnyelőinek mennyiségi meghatározása felé (Barcza et al., 2009). Számos kutatóközpontban vizsgálják a különböző földhasználati módok és talajművelési rendszerek hatását a talaj szénmegkötő képességére, valamint az üvegházhatású gázok emissziójára (Kersebaum et al., 2009; Smith et al., 2009) a szénmegkötést elősegítő gyakorlatok fejlesztése és elterjesztése céljából.

A szén-dioxid-kibocsátás elsődleges forrásai a gyökérlégzés és a mikrobiális légzés, melyek aránya elsősorban az olyan tényezőktől függ (Smith et al., 2003), mint a talaj hőmérséklete és nedvességtartalma, a szervesanyag-tartalom (Szili-Kovács et al., 2009) és a pórusviszonyok. A talajok CO₂-emisszióját meghatározó tényezők közül a talajok fizikai tulajdonságainak, azon belül is elsősorban a talajok hőmérsékletének és nedvességtartalmának szerepe meghatározó, hiszen ezek közvetlenül hatnak a gyökerekre, valamint a mikrobiális működésre (Smith et al., 2003; Szili-Kovács, 2004).

A gyökérlégzést és a mikrobiális aktivitást befolyásoló folyamatok igen komplexek, továbbá talaj- és helyspecifikusak (Birkás, 2009), a mérések időpontja (közvetlenül a talajbolygatás után, vagy jóval később történik a mérés) és körülményei (növényi borítottság megléte vagy hiánya, a talaj hőmérséklete és nedvességtartalma, továbbá mindezen tényezők időbeni változása) jelentősen befolyásolják a mérési eredményeket.

A talajlégzés vizsgálatában kulcsszerepet játszanak a terepi (in-situ) mérések. Azonban a talaj hőmérsékletében és nedvességtartalmában az inkubáció ideje alatt bekövetkezett változások megnehezítik a terepi mérések eredményeinek értékelését, mivel a külön-

böző tényezők emisszióra gyakorolt hatását nehéz elkülöníteni.

Az MTA Talajtani és Agrokémiai Kutatóintézetében (TAKI) kidolgozott új mérési technikával laboratóriumi körülmények között különböző nedvességpotenciál-értékek mellett vizsgáljuk a talaj szén-dioxid-kibocsátását bolygatatlan szerkezetű talajmintákból. A hagyományos laboratóriumi módszerek során bolygatott talajmintákat használnak, és a tömegszázalékban kifejezett talajnedvesség-tartalom függvényében tanulmányozzák a talajminták CO₂-emisszióját (Buchkina et al., 2009). Ugyanakkor ismeretes, hogy eltérő textúrájú talajok esetében a tömegszázalékban kifejezett nedvességtartalom egyazon értékei merőben eltérő nedvességpotenciált jelenthetnek. Emiatt a mérési eredmények eltérő talajoknál nem vethetők össze, mivel a mérés során a talajban lévő víz különböző energetikai állapotban van.

Célunk egy olyan mérési módszer kidolgozása volt, mely figyelembe veszi a talaj szerkezetének és pórusméret-eloszlásának hatását a talaj biológiai folyamataira és szén-dioxid-emissziójára. A mérési módszert két eltérő talajművelési rendszer talajlégzésre gyakorolt hatásának kimutatása során teszteltük kontrollált laboratóriumi körülmények között.

AZ ANYAG ÉS MÓDSZER

A kísérleti terület egy Vác közelében elhelyezkedő 19 éves barackültetvény. A talaj típusa homokos vályogon kialakult Mollic-Cambisol (WRB, 2006). A homok, a vályog és az agyagfrakció aránya a felső 20 cm-es rétegben 58, 22 és 20%. A 6,5 m széles sorokat a telepítés óta két különböző módon művelik; a gyeppel borított (GY) és a tárcsázott (T) sorok felváltva követik egymást. A tárcsázás maximális mélysége 12–15 cm. A tárcsázást az időjárástól függően minden második-harmadik héten elvégzik az áprilistól szeptemberig tartó időszakban. A gyeppel borított sorokat gyakorlatilag nem bolygatják.

A talajlégzés szorosan összefügg a talaj mikrobiológiai aktivitásával, mely a feltalajban a legintenzívebb (*Agbeko – Kita, 2007*). Ennek megfelelően a klímaszobás emissziós mérésekhez a mintákat a talaj felső 10 cm-es rétegéből vettük. Kezelésként 23 mintát szedtünk oly módon, hogy mindkét kezelésben 20 cm magas és 10,5 cm átmérőjű PVC csöveket vertünk le a talajba 10 cm mélyen, véletlenszerű elrendezésben. Ezt követően a csöveket finoman körbeástuk, és a bennük lévő talajjal együtt óvatosan kiemeltük. A mintákat még a terepen alulról légmentesen lezártuk. A 46 mintából kezelésként 20-at a laboratóriumi emissziós mérésekhez, 3-at pedig a térfogattömeg meghatározásához szedtünk. Mindemellett kezelésként 3 darab 100 cm³-es bolygatatlan mintát is szedtünk, melyekből meghatároztuk a talaj térfogattömegét, illetve a -1, -2,5, -10, -32, -100, -200, -500, -2500 és -15 850 hPa nedvesséspotenciálnak megfelelő talajnedvesség-értéket (*Várallyay, 1973*). A talaj egyéb fizikai, kémiai és biológiai tulajdonságait bolygatott talajmintákból határoztuk meg. A mérés az alábbi talajtulajdonságokra terjedt ki: szemcsőösszetétel, NH₄-N, NO₃-N és összes N-tartalom (*Bremner, 1965*), AL-P₂O₅ és AL-K₂O-tartalom (*Sarkadi et al., 1965*), humusz-, mész- és szervesszén-tartalom, pH, szubsztrát indukált respiráció (SIR) és mikrobiális biomasza széntartalom. A vízzoldható szerves szén (WEOC) és a vízzoldható szerves nitrogén (WEON) tartalmat Apollo 9000 Combustion TOC Analyzer segítségével határoztuk meg.

A megközelítőleg 800 cm³ térfogatú, nagy bolygatatlan mintákat klímaszobában helyeztük el és felülről úgy locsoltuk be őket, hogy öt ismétlésben négy különböző vízpotenciál-értéket hozunk létre a hengereken belül. Ez a beállítás lehetővé tette a talaj nedvességtartalma, nedvesséspotenciálja és a talaj CO₂-kibocsátása közötti összefüggések vizsgálatát. A mintákhoz adandó víz mennyiségét a i) kezdeti talajnedvességtartalom és a ii) talaj vízvisszatartó függvénye alapján határoztuk meg. Kezelésként három-há-

rom nagy bolygatatlan mintából még a kísérlet indítása előtt meghatároztuk a talaj térfogattömegét és nedvességtartalmát. Ehhez a szárítószekrényes eljárást alkalmaztuk; a mintákat 105 °C-on tömegállandóságig szárítottuk. A négy beállítandó vízpotenciálhoz (-200, -500, -1585, -2510 cm) tartozó talajnedvesség-tartalmakat a kis - 100 cm³-es - bolygatatlan minták vízvisszatartó görbéi alapján határoztuk meg. A PVC csőben lévő talajoszlopok tömegétől függően különböző mennyiségű vizet adtunk minden egyes mintához, hogy a kívánt nedvességállapotot létrehozzuk. A mérés jellegéből adódóan a kezdeti talajnedvesség-tartalmat és a térfogattömeget a kísérlet elején csak becsülni tudtuk. Ezeket az értékeket minden egyes talajoszlop esetében a kísérlet befejezése után meghatároztuk és a minták pF-értékeit korrigáltuk a valós adatok alapján.

A szén-dioxid-emisszió méréseket klímaszobában, állandó léghőmérsékleten, páratartalom és fényviszonyok mellett végeztük. A léghőmérsékletet 21 °C-ra állítottuk be. Az inkubáció előtt egyenként meghatároztuk a 40 bolygatatlan talajoszlop feletti légréteg térfogatát, majd a PVC csövek tetejét légmentesen lezártuk. A levegőminta-vétel 3 hónapon át heti gyakorisággal történt a talajoszlop feletti lezárt légrétegből a csövek lezárására használt kupakokon lévő szeptumon keresztül. A méréseket mindkét kezelésben 12 alkalommal végeztük el 2009. április 21. és augusztus 27. között, öt ismétlésben. A mérési időpontok a kísérlet beállításától számítva az alábbiak voltak: 1 nap (április 21.), 16 nap (május 6.), 21 nap (május 11.), 28 nap (május 18.), 38 nap (május 28.), 46 nap (június 5.), 56 nap (június 15.), 63 nap (június 22.), 85 nap (július 14.), 105 nap (augusztus 3.), 112 nap (augusztus 10.) és 119 nap (augusztus 17.).

A levegőminta-vétel előtt minden egyes talajoszlop tömegét lemértük, hogy a kísérlet végén a térfogatszázalékos nedvességtartalom- és a talajnedvesséspotenciál-értékek meghatározhatók legyenek. Minden mérés során két levegőminta-vétel történt; egy közvetlenül a PVC csövek lezárása után, egy pedig

3 óra elteltével. A levegőmintákat vákuumozott fiolákba (Exetainer tube, Labco ltd, UK) tettük, majd gázkromatográffal elemeztük.

A kilencedik mérési alkalom után a mintákat visszalocsoltuk a kezdeti tömegükre. Mivel elsődlegesen az eltérő művelési rendszerek talajlégzésre gyakorolt hatására voltunk kíváncsiak, a mintákhoz sem műtrágyát, sem szervesztrágyát nem adagoltunk.

A talaj szén-dioxid-kibocsátását a CO₂-koncentrációban bekövetkezett változás alapján számoltuk ki az 1. képlet alapján (Widen – Lindroth, 2003).

$$F = \frac{1}{A} * \frac{p}{R} \frac{V}{T} * \frac{\Delta C}{\Delta t} * M \quad (1)$$

ahol: F: CO₂-fluxus (g m⁻² nap⁻¹)

A: a PVC henger alapterülete (m²)

V: a henger térfogata a talajoszlop felett (m³)

p: légnyomás (10132,500 N m⁻²)

R: gázállandó (8,314 J mol⁻¹ K⁻¹)

T: lég hőmérséklet (K)

ΔC: a levegő CO₂-koncentrációjának változása az inkubációs idő alatt (mol mol⁻¹)

Δt: a mérés időtartama (nap)

M: a CO₂ moláris tömege (44,01 g mol⁻¹)

A CO₂-kibocsátásban és a térfogattömeg-értékekben mutatkozó eltéréseket egytényezős varianciaanalízis segítségével elemeztük a STATISTICA szoftverrel (StatSoft Inc, 2001). A szignifikancia-szintet 5%-ban határoztuk meg.

AZ EREDMÉNYEK

A kezelések hatása a talajtulajdonságokra

A két különböző sorban (Gy és T) mért talajtulajdonságokat az 1. táblázatban mutatjuk be. Szinte valamennyi talajhidrológiai, talajkémiai és talajbiológiai jellemzőben eltérést találtunk a két kezelés között. A bolygatatlan, gyeppel borított sor magasabb vízdoldhatós-

szervesszén- (WEOC) és nitrogén- (WEON) tartalma, csakúgy, mint a magasabb mikrobiális biomassza szén- és nitrogéntartalom a nagyobb mikrobiológiai aktivitásra utal. A felső 5 cm-es rétegben a gyeppel borított sorban a vízdoldható szervesszén-tartalom több mint háromszor, a vízdoldható szervesnitrogén-tartalom több mint hétszer magasabb volt, mint a rendszeresen tárcsázott sorban. Bár a vízdoldható szervesszén- és nitrogén-tartalom csak elenyésző részét képezi a talaj szerves anyagának, számos talajfolyamatban fontos szerepet töltenek be, és ezáltal jelentősen befolyásolják a talaj biológiai aktivitását (Chantigny, 2003).

Megállapítható, hogy a gyeppel borított sor tápanyagban gazdagabb (1. táblázat), ami arra is utal, hogy a talajélet – különösen mikrobiológiai talajélet – a gyakorlatilag bolygatatlan kezelésben sokkal intenzívebb.

Ugyancsak a Gy kezelésben a talaj térfogattömege és vízgazdálkodási jellemzői jól tükrözik a magasabb szervesanyag-tartalom közvetett és a sűrű gyökérrendszer közvetlen lazító hatását a talaj szerkezetére (1. táblázat). A 100 cm³-es bolygatatlan mintákból mért térfogattömeg-értékek átlaga a 0–5 cm-es talajrétegben értelemszerűen 1,18 és 1,35 g cm⁻³ volt a gyeppel borított és a tárcsázott sorban. Az 5–10 cm-es rétegben a különbség már nem volt statisztikailag szignifikáns, itt a térfogattömegek átlaga 1,43 (Gy) és 1,47 (T) g cm⁻³ volt. A 20–20 nagy bolygatatlan mintából a talaj felső 10 cm-es rétegére meghatározott térfogattömeg-értékek szignifikánsan különböztek a két kezelésben (1,19 ± 0,07 – tárcsa és 1,07 ± 0,06 – gyepp), mely szintén a gyeppel borított sor lazább szerkezetére utal.

A mért térfogattömeg-adatokkal összhangban a talajhidrológiai jellemzők elsősorban a talaj felső 5 cm-es rétegében különböztek, bár a telítettségi víztartalom a tárcsázott sorban is magas volt (több mint 50 v%). A szabadföldi vízkapacitás és a növények számára felvehető víz mennyisége 30%, illetve 20 v% felett voltak, mely a vizsgált talaj jó víztartó tulajdonságaira utal. Mindemellett a pF-görbének az összes mért jellemző pontja

1. táblázat

A tárcsázott és a gyeppel borított sorban mért talajkémiai, talajbiológiai és talajhidrológiai jellemzők

Talajtulajdonság	Tárcsázott sor (T)		Gyep borított sor (Gy)	
	0–5 cm	5–10 cm	0–5 cm	5–10 cm
pH (KCl)	7,30	7,29	7,76	7,96
pH (H ₂ O)	8,15	8,13	7,12	7,21
Összes N [mg/kg]	1298*		1805*	
K ₂ O [mg/kg]	244*		387*	
P ₂ O ₅ [mg/kg]	337*		382*	
WEOC [µg C/g talaj]	41,56	41,11	138,10	93,90
WEON [µg N/g talaj]	1,48	3,16	10,58	7,01
Mikrobiális biomasza C [µg C/g talaj]	52,0	32,9	234,5	87,0
Mikrobiális biomasza N [µg N/g talaj]	9,1	8,8	50,0	17,0
Szerves szén %	0,98*			
SIR [µg CO ₂ -C/g talaj]	4,64	3,76	21,78	6,38
Humusz %	1,69*		1,32*	
Térfogattömeg [gr/cm ³]	1,35	1,47	1,18	1,43
Telítettség víztartalom [v%]	51,3	47,6	57,3	48,1
Szabadföldi vízkapacitás [v%]	31,2	32,5	38,1	33,2
Szabadföldi vízkapacitás [v%]	31,8*		35,6*	
Hervadáspont [v%]	9,7	10,6	10,3	10,4
Hasznos vízkészlet [v%]	21,5	21,9	27,8	22,8

A csillaggal megjelölt adatok esetében a mérések a kb. 800 cm³-es nagy méretű, a többi esetben a 100 cm³-es bolygatatlan talajmintákból történtek.

magasabb porozitást és vízviisszatartó képességet mutatott a gyeppel borított sorban.

Eredményeink arra engednek következtetni, hogy a bolygatatlan talajban stabilabb talajszerkezet és intenzívebb talajélet alakult ki, ami jobb vízgazdálkodást eredményezett a gyeppel borított talajban.

A kezelések hatása a talaj CO₂-kibocsátására

A kezelésenként 20 darab, nagyméretű bolygatatlan talajmintákból mért szén-dioxid-emisszió átlagértékeit és szórását az 1. ábrán mutatjuk be. Szignifikánsan nagyobb CO₂-emissziót mértünk a gyeppel borított sorból származó mintákon a tárcsázott sor mintáihoz képest a különböző talajnedvesség-tartalmaknál (2. ábra), szinte valamennyi mérési időpontban (1. ábra).

Azokon a mérési napokon, amikor a két kezelés között nem volt statisztikailag kimutatható különbség a CO₂-emisszió értékében

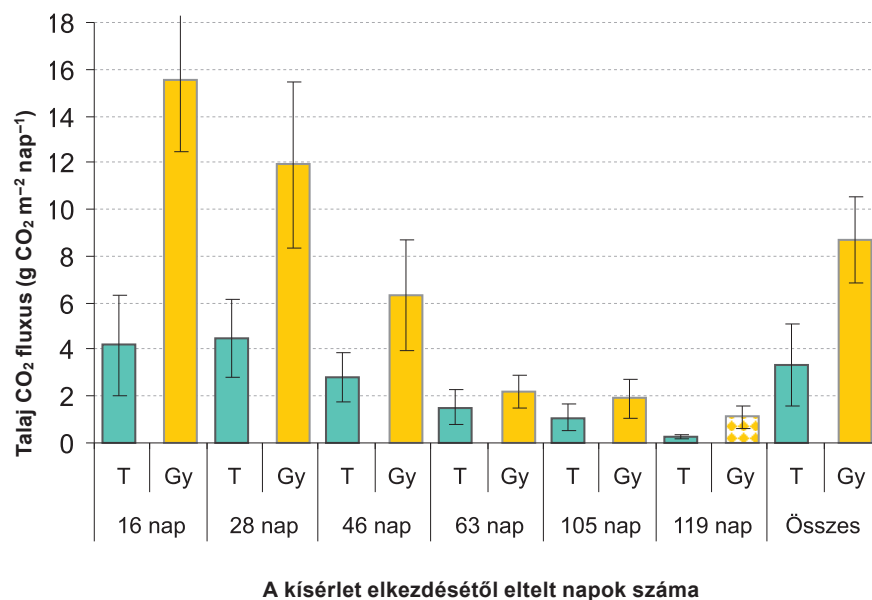
(63., 105. és 112. nap), a gyeppel borított sorból származó minták emissziója nagyobb volt, mint a tárcsázott sorból származó mintáké.

Az emisszió-mérések eredményei azt mutatják, hogy bár a művelés oxigéndús állapotot hoz létre a feltalajban, a folyamatos talajbolygatás megbontja a talaj mikrobiológiai egyensúlyát, és a talaj mikrobiológiai aktivitásának csökkenését eredményezi. Ezek az eredmények összhangban állnak a talajbiológiai paraméterek alapján levont következtetésekkel (1. táblázat).

A talajnedvesség-tartalom hatása a CO₂-emisszióra

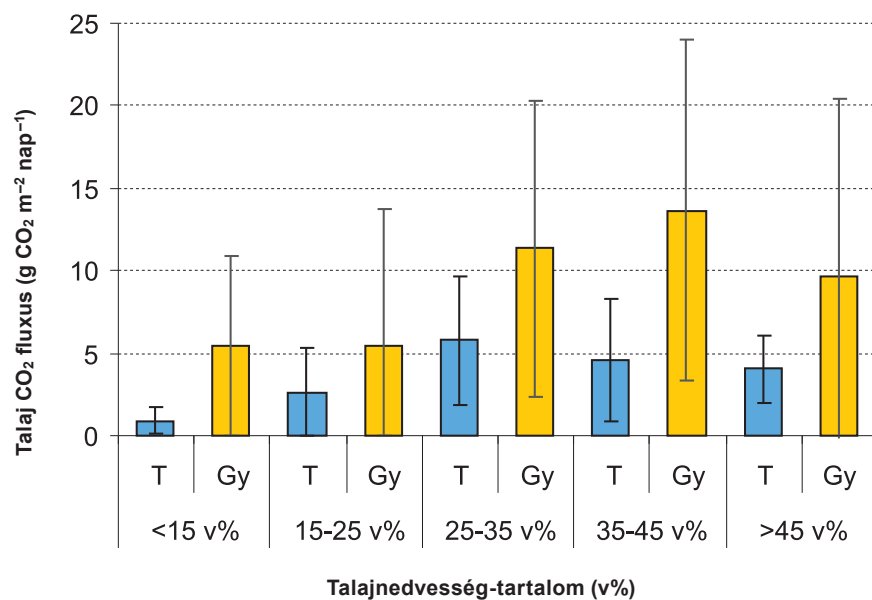
A kísérlet végén, miután megmértük a talajoszlopok tényleges térfogattömegét, minden egyes mérési napra visszamenőleg kiszámoltuk azok nedvességtartalmát. A 2. ábra a mért CO₂-emisszió átlagértékeit és szórását ábrázolja 5 különböző talajnedvesség-tartományban. A gyeppel borított (Gy) és a tárcsázott

1. ábra



A talaj szén-dioxid-emissziója az eltérő kezelésekben

2. ábra



A talaj szén-dioxid-emissziója és nedvességtartalma közötti összefüggés az eltérő kezelésekben

(T) kezelésekből származó mintákból mért fluxusok átlagértékeinek összehasonlítását egytényezős varianciaanalízissel végeztük 5%-os szignifikancia-szinten. A bolygatatlan kezelésben (Gy) mért emisszió-értékek valamennyi nedvességtartományban szignifikánsan nagyobbak voltak, mint a tárcsás kezelésben, kivéve a legnedvesebb talajállapotot (>45 v%), ahol a különbség nem volt szignifikáns. Mivel ebben a nedvességtartományban kevés volt a mintaszám, megalapozott következtetéseket nem tudunk levonni.

Eredményeink azt mutatják (2. ábra), hogy a minták nedvességtartalmától függetlenül a gyep borított sorból származó talaj CO₂-emissziója legkevesebb kétszerese, de esetenként négyszerese volt a tárcsázott talajból mért emisszióhoz. Általában a talajnedvesség-tartalom növekedésével párhuzamosan a talajlégzés emelkedését figyeltük meg, egészen a szabadföldi vízkapacitáshoz tartozó nedvességérték eléréséig. A szabadföldi vízkapacitás értéke a felső 0–10 cm-ben 31,85 és 36,65 v% volt tárcsázott és a gyep borított sorban (1. táblázat). Ennek megfelelően a T és a GY kezelésekből a legmagasabb CO₂-fluxus értékeket a 25–35 v%, illetve a 35–45 v% nedvességtartományban mértük. A telítettségi nedvességállapothoz közeledve kismértékű csökkenést figyeltünk meg az emisszióban.

Összességében megállapítható, hogy a talaj mikrobiológiai aktivitása magasabb volt a kevésbé bolygatott, gyep borított kezelésben, mint a tárcsázott sorban minden talajnedvesség-tartományban. A talaj mikrobiológiai életének a legkedvezőbb feltételeket a szabadföldi vízkapacitáshoz közeli talajnedvesség-állapot nyújtotta, feltételezhetően a víz és a levegő optimális aránya révén.

A talaj vízpotenciálja és CO₂-emissziója közötti összefüggések

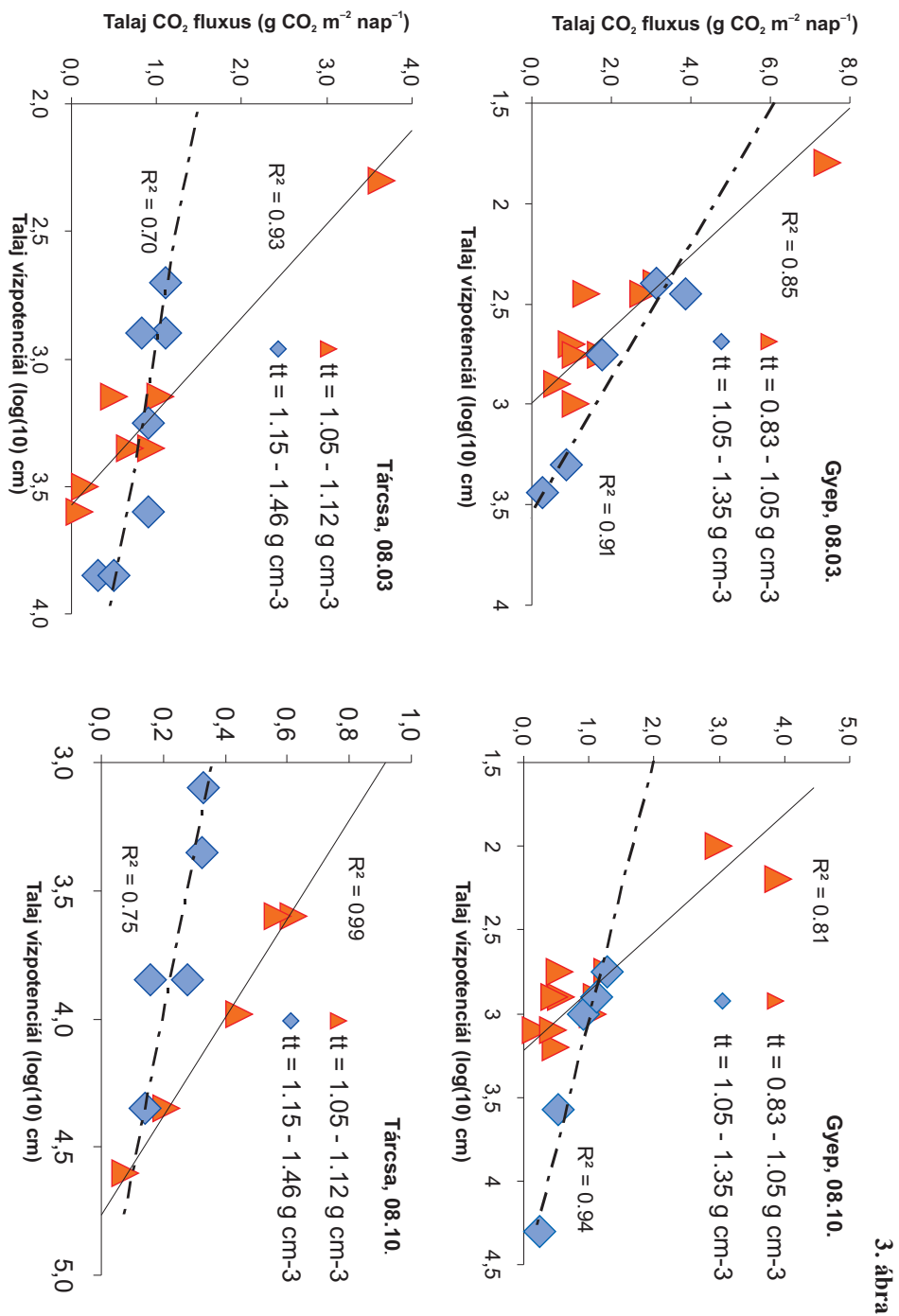
A talaj CO₂-emisszióját meghatározó talajtulajdonságok, mint a talajhőmérséklet vagy a talaj mikrobiológiai élete, elsősorban nem a talaj abszolút nedvességtartalmától függenek, hanem a víz energetikai állapotától, tehát at-

tól, hogy milyen méretű pórusok telítődnek vízzel a pórustérben. A talajban lévő víz állapotának jellemzésére a talaj vízpotenciálja a legalkalmasabb, hiszen különböző talajoknál ugyanazon talajnedvesség-értékek nem feltétlenül tartoznak egyazon talajvízpotenciálhoz. Ez még a hasonló mechanikai összetételű, de szerkezetileg különböző talajoknál is megfigyelhető (1. táblázat). Ez a gyakorlatban azt jelenti, hogy ugyanaz a talajnedvesség-tartalom teljesen különböző víz-levegő arány mellett fordulhat elő, és emiatt eltérő feltételeket biztosíthat a talajmikrobiológiai életnek.

A fentiek miatt célunk egy olyan mérési technika kidolgozása volt, melynél a talaj vízpotenciál és a talaj CO₂-emissziója közötti kapcsolatot tudjuk vizsgálni. Az előzetes becslések alapján a talajmintákban négy különböző talajvízpotenciál-értéket – pF2.0, pF2.3, pF3.2 és pF3.4 – próbáltunk beállítani a minták belocsolásával. A kísérlet végén a bolygatatlan mintákból minden mérési időpontra visszamenőleg pontosan meghatároztuk a térfogattömeget és a minták tényleges vízpotenciál-értékét. A vízpotenciál-értékek a vártnál szélesebb spektrumot öleltek fel, pF1.0 és pF4.6 között változtak.

Az első öt mérési alkalommal (a mérés megkezdésétől számított 1., 16., 21., 28. és 38. napon) a talajemisszió és a vízpotenciál-értékek közötti összefüggés nem volt olyan erős, mint a későbbi (a mérés megkezdésétől számított 46–119.) mérési napokon. Úgy gondoljuk, hogy a talajmintavétel, a szállítás és a minták teljesen új környezetbe helyezése megbontotta a talajban lévő mikrobiológiai egyensúlyt. A fluxusok és a vízpotenciál-értékek közötti tendenciát az ötödik mérési nap után figyelhettük meg; ekkor az értékek közötti összefüggés szorosabbá vált.

A 3. ábra a talajvízpotenciál-értékek függvényében mutatja be a talajlégzést a két kezelésben két eltérő mérési időpontban. Az augusztus 3-i és 10-i időpont a mérés kezdetétől számított 105. és 112. napnak felelt meg. Az emisszió-értékeket két térfogattömeg-kategóriában vizsgáltuk. A tárcsázott kezelésben a talaj vízpotenciálja és CO₂-emissziója kö-



A talaj szén-dioxid-emissziója és nedvességpotenciálja közötti összefüggés az eltérő kezeléseken

zötti determinisztikus együttható (R^2) 0,70 és 0,75, valamint 0,93 és 0,99 között mozgott a magasabb és az alacsonyabb térfogattömeg-értékeknél. Az összefüggés szorosabb volt az alacsonyabb térfogattömeg-értékek esetében, valószínűleg azért, mert ez a térfogattömeg-csoport kisebb spektrumot ölelt fel. A térfogattömeg-értékek csoportba sorolása nélkül az R^2 -értékek 0,60 és 0,34 voltak a 105. és 112. mérési napon.

A gyeppel borított sorban az R^2 -értékek az augusztus 3-i és 10-i méréseknél 0,63 és 0,55 voltak a teljes adathalmazra értelmezve. Amikor a mintákat két csoportba soroltuk, az alacsonyabb térfogattömeg-tartományban 0,85 és 0,97, a magasabb tartományban 0,81 és 0,90 volt a determinisztikus együttható értéke.

Eredményeink egyértelműen mutatják a talaj CO_2 -kibocsátása és a talaj vízpotenci-

álja közötti szoros kapcsolatot. A bemutatott példákön látható, hogy ez az összefüggés függ a talaj szerkezetétől is, hiszen a közel azonos térfogattömegű minták esetében magasabb determinisztikus együtthatókat kaptunk. Ez a megállapítás arra enged következtetni, hogy a bolygatott, szerkezet nélküli talajokon végzett inkubációs kísérletek eredményei alapján csak megfelelő körültekintéssel lehet következtetéseket levonni a talajok szén-dioxid-kibocsátásáról.

KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

A kutatásokat az OTKA (T62436, K6-0314 és T048302) és a MEH-MTA VI.11 sz. kutatási projekt támogatta.

FORRÁSMUNKÁK JEGYZÉKE

- (1) ABGEKO, J.F. – KITA, M. (2007): A qualitative experiment to analyze microbial activity in topsoil using paper and handmade reflection photometer. *J. Chem. Ed.* 84:1689–1690. pp.
- (2) BARCZA Z. – HASZPRA L. – SOMOGYI Z. – HIDY D. – LOVAS K. – CHURKINA G. – HORVÁTH L. (2009): Estimation of the biospheric carbon dioxide balance of Hungary using the BIO-ME-BGC model. *Időjárás* 113:203–219. pp.
- (3) BIRKÁS M. (2009): A klasszikus talajművelési elvárások és a klímakár csökkentés kényszere. *Növénytermelés* 58:123–134. pp.
- (4) BRENNER, J.M. (1965): Total Nitrogen. In: BLACK C.A. et al. (eds.): *Methods of soil analysis. Part 2. Chemical and microbiological properties.* Am. Soc. Agr., Madison, USA.
- (5) BUCHKINA, N.P. – BALASHOV, E.V. – RIZHIYA, E.Y. – SMITH, K. A. (2009): Nitrous oxide emission from a light-textured arable soil of North-Western Russia: effects of crops, fertilisers, manures and climate parameters. *Nutrient Cycle in Agroecosystems*, DOI 10.1007/s10705-010-9349-5.
- (6) CHANTIGNY, M.H. (2003): Dissolved and water-extractable organic matter in soils: a review on the influence of land use and management practices. *Geoderma* 113 (3–4):357–380. pp.
- (7) KERSEBAUM, K.C. – NENDEL, C. – MISCHER, W. – MANDERSCHIED, R. – WEIGEL, H.J. – WENKEL, K.O. (2009): Testing different CO_2 response algorithms against a face crop rotation experiment and application for climate change impact assessment at different sites in Germany. *Időjárás* 113:79–88. pp.
- (8) SARKADI J. – KRÁMER M. – THAMM B. (1965): Kalcium- és ammonlaktátos talaj kivonatok p-tartalmának meghatározása aszkorbinsav-ónkloridos módszerrel melegítés nélkül. *Agrokémia és Talajtan* 14: 75–86. pp.
- (9) SMITH, K. – BALL, T. – CONEN, F. – BOBBIE, K. – MASSHEDER, J. – REY, A. (2003): Exchange of GHG between soil and atmosphere: interactions of soil physical factors and biological processes. *E.J. of Soil Science* 54: 779–791. pp.
- (10) SMITH, W. – GRANT, B. – DESJARDINS, R. (2009): Some perspectives on agricultural GHG mitigation and adaptation strategies with respect to the impact of climate change/variability in vulnerable areas. *Időjárás* 113:103–115. pp.
- (11) STATSOFT INC. (2001): STATISTICA – Data Analysis Software. Ver.6. www.statsoft.com
- (12) SZILI-KOVÁCS T. (2004): Szubsztrát indukált

respiráció a talajban. *Agrokémia és Talajtan* 53. 195-214. pp. (13) SZILI-KOVÁCS T. – CSERNI I. – VÉGH K.R. – RAJKAI K. – NÉMETH T. (2009): Fertilizer effect on carbon dynamics of different texture soils under tomato cultures. *Comm. in Soil Science and Plant Analyses* 40: 835-843. pp. (14) VÁRALLYAY GY. (1973): A new apparatus for the determination of soil moisture potential in the low suction range. *Agrokémia és Talajtan* 22: 1–22. pp. (15) WIDEN, B. – LINDROTH, A. (2003): A Calibration System for Soil Carbon Dioxide – Efflux Measurement Chambers: Description and Application. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 67:327-334. pp.

A TERMÉSSINGADOZÁS ÉS AZ IDŐJÁRÁS ÖSSZEFÜGGÉSEI A SZÁNTÓFÖLDI NÖVÉNYTERMELÉSBEN

TARNAWA ÁKOS – KLUPÁCS HELGA – BALLA ISTVÁN – JOLÁNKAI MÁRTON

Kulcsszavak: időjárás, klimatikus tényezők, növénytermelés, termésstabilitás.

ÖSSZEFOGLALÓ MEGÁLLAPÍTÁSOK, KÖVETKEZTETÉSEK, JAVASLATOK

A vizsgálatban 40 éves adatsorok alapján 11 növényfaj; búza, kukorica, árpa, rozs, zab, borsó, napraforgó, repce, lucerna, cukorrépa, burgonya terméseredményeinek 32 meteorológiai paraméter alapján történő elemzését végeztük. A cél annak meghatározása volt, hogy mennyiben függ az adott évi termésátlag trend alatti vagy trend fölötti alakulása az időjárástól. Összességében megállapítható, hogy bár a növénytermelésre az időjárás egyes tényezői, így különösen a hőmérséklet, a radiáció és a csapadék jelentősen hat, semmiképpen nem hagyhatók figyelmen kívül az agrotechnikai és az egyéb elemek. Az agrotechnikai kutatásoknak és fejlesztéseknek jelentős szerepe lehet az ingadozások mérséklésében.

BEVEZETÉS

Az emberi civilizáció kibontakozásának hajnalán, mikor az ember különböző növények termesztésével kezdett foglalkozni, szembesült azzal a ténnyel, hogy a különböző években az egyes növények nem azonos mennyiséget teremnek, sőt, néha a termésingadozás igen nagy mértékű is lehet. Ezt a hektikusságot kezdetben, az akkori kor színvonalának megfelelően, a természetfölötti erőknek tulajdonították, és ellene ezeknek az erőknek a kiengesztelésével próbáltak tenni. A későbbi korokban egyre több racionális okot találtak ennek a jelenségnek a magyarázatára, míg a legújabb korban, a racionalizmus talaján állva, kizárólag tudományos indokokkal próbáljuk magyarázni (Jolánkai – Birkás, 2007; Jolánkai et al., 2008). Ez azért fontos, mert a növénytermelés így okszerűvé vált. A termésátlagok alakulására ható tényezők (Tarnawa – Klupács, 2006) között vannak, amelyeket a növénytermesztő

befolyásolhat – ezeket agrotechnikai elemekként foglaljuk össze –, és vannak, amelyekhez alkalmazkodni szükséges, ezeket környezeti tényezőknek nevezzük (Várallyay et al., 1985). A környezeti tényezők közül az egyik kiemelkedő jelentőségű az időjárás (Szöllősi et al., 2004). Minthogy a növénytermelés jellemzően nem fedett helyen történik, hanem a szabadban, így az időjárás hatása mindig nagy (Láng et al., 2007).

A termésátlagok ma is többé-kevésbé erős ingadozást mutatnak a sokéves átlaghoz vagy trendhez képest, érdemes megvizsgálni, hogy ez mennyiben van összefüggésben az időjárás egyes elemeivel.

AZ ANYAG ÉS MÓDSZER

Ha vizsgáljuk a főbb növények elmúlt évtizedekbeni termésátlagainak alakulását, akkor növekvő trend látható, szembetűnő ingadozás mellett. Jelen tanulmányban az or-

szágos szinten legnagyobb területen termelt növények termését vizsgáltuk 1960 és 2000 között (*KSH*): búza, kukorica, árpa, rozs, zab, borsó, napraforgó, repce, lucerna, cukorrépa, burgonya. A vizsgált növények termésátlagára lineáris trenddel viszonylag szoros korrelációt mutat, amely trendet elsősorban az agrotechnikában és a fajtákban beállt változás, a trendtől való eltérést pedig az évjárat magyarázza. Célunk annak kiderítése, hogy mennyiben függ az adott évi termésátlag trend alatti vagy trend fölötti alakulása az időjárástól.

A meteorológiai szolgálat az éves időjárásról országos szinten a következő 32-féle adatot gyűjti (*OMSZ*): évi középhőmérséklet, legmagasabb napi középhőmérséklet adott évben, legalacsonyabb napi középhőmérséklet adott évben, évi maximum hőmérséklet, napi maximumok évi átlaga, 0 °C alatti napok (maximum), 25 °C fölötti napok, 30 °C fölötti napok, 35 °C fölötti napok, évi minimum hőmérséklet, napi minimumok évi átlaga, 0 °C alatti napok (minimum), mínusz 10 °C alatti napok, 20 °C fölötti napok, csapadék évi összege, havazásból esett évi csapadék, maximális napi csapadék, 0,1 mm fölötti csapadék, 1 mm fölötti csapadék, 5 mm fölötti csapadék, 10 mm fölötti csapadék, 20 mm fölötti csapadék, 30 mm fölötti csapadék, 50 mm fölötti csapadék, havas napok, jeges napok, zivataros napok, ónos napok, napfénytartam évi összege, maximális napi napfénytartam, 20%-nál kevesebb napi napsütés, 80%-nál több napi napsütés.

Az adatok értékeléséhez MS Excel programot használtunk. Minden növényre ki-

számoltuk évente a trendet és az ettől való eltérést, és ezeket az időjárási tényezőkkel kapcsolatban vizsgáltuk. Így a 11 növényhez egyenként 32 összefüggést kaptunk. Az egyes összefüggéseknek az erősségét mutatja a *Pearson-féle* korrelációs együttható (r), melyet minden esetben kiszámoltunk. Ennek az együtthatónak az abszolút értéke utal arra, hogy milyen mértékű az adott időjárási mutató szerepe az adott évi trendtől való eltérés kialakításában.

AZ EREDMÉNYEK

A kapott korrelációs együtthatókról elmondható, hogy abszolút értékük nem túl magas, 0 és 0,5 között változik. A kapott eredmények igen nagy száma miatt csak összefoglalók közlésére nyílik lehetőség. Ezekben a korrelációs együtthatók abszolút értékét kategóriáknak vizsgáljuk, az egyes kategóriák a következők: legalacsonyabb ($0,1 > |r|$), alacsony ($0,2 > |r| \geq 0,1$), közepes ($0,3 > |r| \geq 0,2$), magas ($|r| \geq 0,3$). Az 1. táblázatban látható, hogy az egyes növények esetében hány darab időjárási tényezőnél esett az egyes kategóriákba a r abszolút értéke.

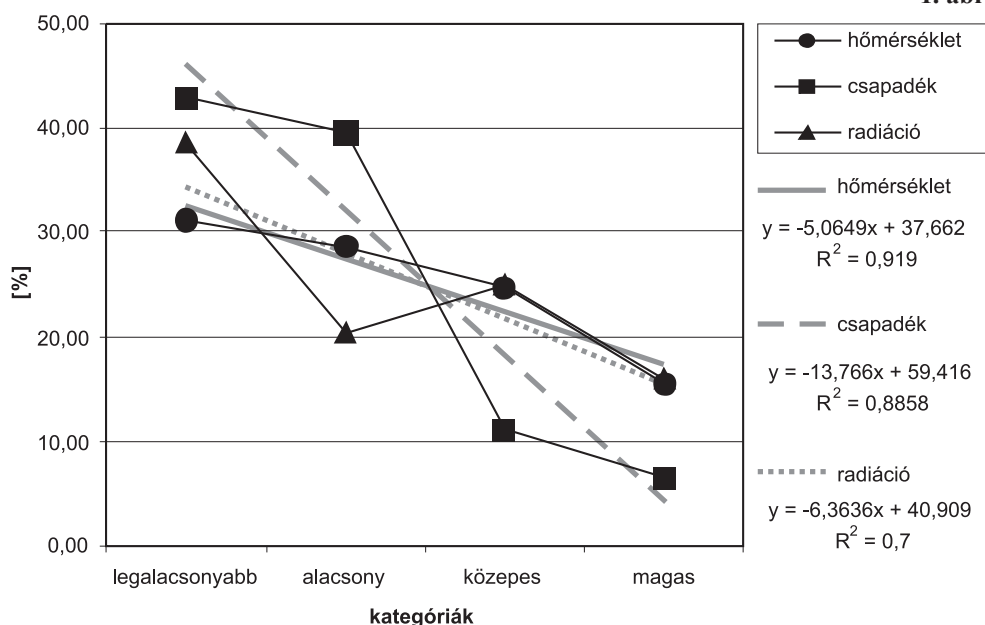
Az 1. ábrán azt mutatjuk be, hogy ha az időjárási tényezőket három nagy csoportba foglaljuk (hőmérséklet, csapadék, radiáció), akkor az összes növényt tekintve hány százaléknál esik a korrelációs együttható abszolút értéke az egyes kategóriákba, illetve az időjárási csoportonként látható trendet és az ehhez történő illeszkedés erejét is láthatjuk.

1. táblázat

Az egyes növényekre ható időjárási faktorok hatásának erőssége kategóriánként

r	búza	kukorica	árpa	rozs	zab	borsó	napraforgó	repce	lucerna	cukorrépa	burgonya
magas	2	7	3	3	2	4	1	1	8	7	3
közepes	4	3	5	10	4	5	5	9	5	8	8
alacsony	10	14	7	6	12	9	16	11	10	8	11
legalacsonyabb	16	8	17	13	14	14	10	11	9	9	10

1. ábra



Az időjárási faktorok nagy csoportjainak általános korrelációs erőssége

A KÖVETKEZTETÉSEK

Az r abszolút értéke minél nagyobb, annál szorosabb az összefüggés, tehát annál nagyobb a hatása az adott időjárási elemnek.

Kalászos gabonák, borsó és olajnövények esetében a termésátlagok ingadozása elsősorban nem az időjárás ingadozásával függ össze. Ez főleg ezeknek a növényeknek a nagyon jó klimatikus alkalmazkodóképessége miatt adódhat, amivel az időjárásnak akár a szélsőségeit is tolerálni tudják. Ellenben az agrotechnika és a vetésszerkezet változásai mindenképpen hatást gyakorolnak, így ezek válnak a fő befolyásoló tényezőkké.

Az időjárás meghatározó szerepe valamivel erősebb a kukorica és a burgonya tekintetében. Ezek igényesebb kultúrák, és itt az agrotechnikában elkövetett hibák is sok esetben úgy jelentkeznek, hogy nem tudják tompítani az időjárás szélsőségeit. Ennek a két növénynek a kapcsán meg kell jegyezni, hogy a vizsgáltak közül ez az a kettő, amelyeknek az

őshazája leginkább eltér klíma tekintetében Magyarországtól.

Legerősebb hatást a lucerna és a cukorrépa esetében tapasztaltunk. Ennél a két növénynél a magyarázat különböző, pont ellentétes. A vizsgált növények közül a lucerna a legextenzívebb viszonyok között termelt. Ezért a termés mennyiségét kevés más dolog tudja befolyásolni, mint az időjárás, így ennek kiemelkedő a hatása. A cukorrépánál pedig általában azt találjuk, hogy azok foglalkoznak ezzel a kultúrával, akik minden agrotechnikai problémát magas színvonalon meg tudnak oldani, így változóként szinte csak az időjárás marad meg.

Az 1. ábrán látható, hogy a hőmérsékletnek és a sugárzásnak van nagyobb hatása, a csapadék hatása általában kevésbé erősen korrelál, de ez a trend csak a hőmérséklet és a csapadék tekintetében igazán erős. Ez elsőre meglepőnek hat, de érdemes belegondolni, hogy egyrészt a radiáció megváltoztatására szinte semmilyen agrotechnikai eszközünk

nincs (csak nagyon korlátozott mértékben), és a hőmérséklet szélsőséges és hirtelen változásaival, ha kisebb mértékben is, de hasonló a helyzet. A legtöbb kutatás és fejlesztés a csapadék, és ezen keresztül a talaj vízgazdálkodásának szélsőséges helyzeteit próbálja fölmérni és orvosolni. Ezzel kapcsolatban áll rendelkezésünkre a legtöbb agrotechnikai lehetőség, és mivel ezzel élnek is a gazdálkodók, ezért adódik ez a legkisebb befolyásoló tényezőnek.

Az 1. ábrán látható, hogy ezek a trendek nagyon szoros korrelációt mutatnak, így használhatók az egyes növényeknél összehasonlításként. A vizsgált növények átlagaként adódó, tulajdonképpen ezeket a növényeket valamilyen szempontból közösen, átlagosan ábrázoló egyeneseket tekinthetjük úgy is, mint egy „fiktív referencia növény” (röviden φ) tulajdonságait. Ha összehasonlítjuk a

tényleges növényeknél látható megoszlásokat a φ alakulásával (tulajdonképpen az átlagtól való eltérés), látható, hogy a kalászos gabonák, a borsó és az olajos növények a φ csapadék vonalához hasonlítanak jobban, míg a többi növény a φ hőmérséklet vonalához. Tehát a mi éghajlatunkon, vagy ahhoz hasonló övezetben termesztésbe vont növények szempontjából a csapadék az elsődleges faktor, míg a trópusi-szubtrópusi területekről származó növényeknél a hőmérséklettel összefüggő időjárási tényezők.

Összességében megállapíthatjuk, hogy bár a növénytermelésre az időjárás egyes tényezői jelentősen hatnak, ugyanakkor semmiképpen nem hagyhatók figyelmen kívül az agrotechnikai és egyéb elemek hatásai. Az agrotechnikai kutatásoknak és fejlesztéseknek jelentős szerepe lehet az ezek által okozott ingadozások mérséklésében.

FORRÁSMUNKÁK JEGYZÉKE

- (1) JOLÁNKAI M. – BIRKÁS M. (2007): Global climate change impacts on crop production in Hungary. *Agriculturae Conspectus Scientificus*, 72. 1. 17-20. pp. (2) JOLÁNKAI M. – NYÁRAI H.F. – TARNAWA Á. – KLUPÁCS H. – FARKAS I. (2008): Plant and soil interrelations. *Cereal Research Communications*, 36. Suppl. 7-10. pp. (3) LÁNG I. – CSETE L. – JOLÁNKAI M. (szerk.; 2007): A globális klímaváltozás: hazai hatások és válaszok. A VAHAVA Jelentés. Szaktudás Kiadó Ház, Budapest (4) SZÖLLŐSI G. – UJJ A. – SZENTPÉTERY ZS. – JOLÁNKAI M. (2004): A szántóföldi növénytermesztés néhány agroökológiai aspektusa. „AGRO-21” Füzetek. 37. 77-88. pp. (5) TARNAWA Á. – KLUPÁCS H. (2006): Element and energy transport model for an agricultural site. *Cereal Research Communications*. 34. 1. 85-89. pp. (6) VÁRALLYAY GY. – SZÜCS L. – ZILAHY P. – RAJKAI K. – MURÁNYI A. (1985): Soil factors determining the agroecological potential of Hungary. *Agrokémia és Talajtan*. 34. Suppl. 90-94. pp.

AZ ÁRVÍZVÉDELEM BIZTONSÁGA ÉS A KLÍMAHATÁSOK KAPCSOLATA A TISZA VÍZGYŰJTŐJÉN

RADVÁNSZKY BERTALAN – BABÁK KRISZTINA – BALOGH JÁNOS –
FÁBIÁN SZABOLCS ÁKOS – SCHWEITZER FERENC

Kulcsszavak: klímaváltozás, veszélyek, árterek, modellezés, Tisza.

ÖSSZEFOGLALÓ MEGÁLLAPÍTÁSOK, KÖVETKEZTETÉSEK, JAVASLATOK

A Tiszán kialakuló árvizeknél fontos szerepet játszanak a hidrometeorológiai, a geomorfológiai, a vegetációs, valamint az antropogén hatások. A szélsőségesen változékony vízjárású Tisza vízgyűjtő területén veszélyes árvizek alakulnak ki a téli hó elolvadásakor, a tavaszi–nyári, sőt a mediterrán ciklonoknak köszönhetően az őszi nagy esőzésekkor is.

A Tisza vízgyűjtőjén a közelmúltban bekövetkezett természeti katasztrófák alapja a pozitív átlagos hőmérséklet-változás, amely fokozza a globális vízkörzést. A regionális klímamoddell (REMO) végzett vizsgálatok alapján, a XXI. század végére (2061–2090) elkészített éghajlati forgatókönyvvvel lehet számolni. A havi átlagos hőmérsékletek a jövőben az év minden hónapjában növekednek. A csapadékmennyiség változásának nagysága térben és időben különböző lehet a kutatások alapján. A Tisza vízgyűjtő síksági részén az éves csapadéknövekedés eléri a 6%-ot, az Északkeleti-Kárpátok területén a 6–9%-ot, ellenben az Erdélyi-medencében 6–15%-os csökkenés várható.

A lefolyási modell (Hydrological Discharge, HD) alapján – a REMO modell várható éghajlati adatait felhasználva – a Tisza éves átlagos vízhozama csökkenni fog a szcenárió-időszakban (2071–2090) Zentánál. A havi átlagos vízhozam változása különböző előjelű lesz, a legjelentősebb csökkenés augusztusban (16%), szeptemberben (32%) és októberben (20%) következik be, a növekedés pedig januárban (9%), áprilisban (7%) és májusban (29%).

Vizsgálataink alapján megállapítható, hogy a hullámtéri üledék lerakódása, az övzátonyok épülése, valamint a hullámtéri vegetáció és a technika fejlődése révén növekvő antropogén hatások tovább fokozzák a szélsőséges hidrometeorológiai helyzet miatt kialakuló pusztító árvizek gyakoriságát.

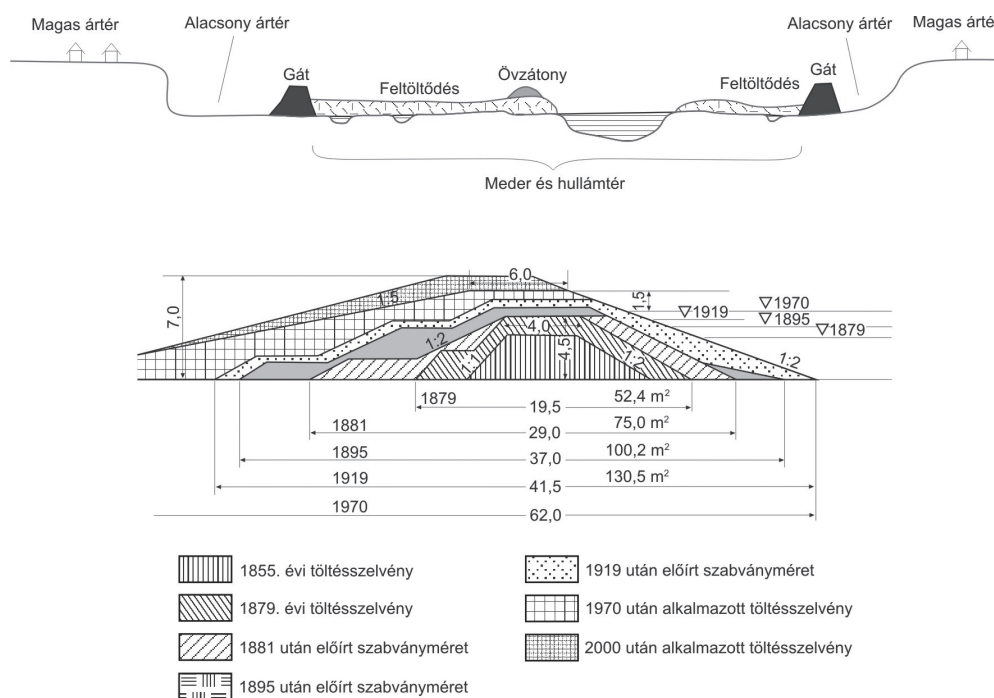
BEVEZETÉS

Magyarországon – földrajzi fekvéséből és politikai környezetéből adódóan – kiemelt nemzetbiztonsági kérdés a megfelelő árvízvédelmi rendszer működése. A természeti veszélyek közül is kiemelkedik mind az érintett terület nagyságát, mind az érintett lakosság lélekszámát illetően. A Tisza vízgyűjtő

eredeti árterületének nagysága kb. 16 500 km², amelyhez 1050 km² hullámtér kapcsolódik (Somogyi, 2000). Közvetlenül a Tisza mentén 141 település több mint 700 000 lakója él (Csatári, 2001).

Az elmúlt 160 év árvizei bizonyítják, hogy a Vásárhelyi által megálmodott, a Tisza mentén kivitelezett ármentesítési rendszer nem működik tökéletesen. Az árvízszintek folya-

1. ábra



Az árvízvédelmi töltések magasságának növekedése

Forrás: Vágás I. nyomán Schweitzer, 2001

matosan növekednek, még a csökkenő vízhozamok mellett is. A XX. században sajnos többször előfordult (1919, 1925, 1940, 1948, 1970, 1974, 1998, 1999, 2000), hogy az árvízszint elérte vagy meghaladta a gátak koronamagasságát (Schweitzer, 2003). Ezért 1850 óta már hét alkalommal emelték az árvízvédelmi töltések koronamagasságát (1. ábra).

Napjainkban az 1,2–1 millió évvel ezelőtt kezdődött valódi jégkorszak egy interglaciális szakasza figyelhető meg. A Tisza vízgyűjtő terület utolsó 6 millió évének többszöri klímaváltozásáról tanúskodnak a geomorfológiai formák és a paleontológiai leletek (Bulla, 1941; Láng, 1942; Somogyi, 1961; Kretzoi, 1969; Jánossy, 1979; Kordos, 1979; Rónai, 1985; Адаменко – Гродецкая, 1987; Borsy, 1989; Radvánszky – Izsák, 2005; Gábris – Nádor, 2007).

Az extraterresztrikus és a terresztrikus hatások következtében bolygónk éghajlata folyamatosan változott (Schweitzer, 2004). De a változás nagysága a mai átlagos hőmérséklethez képest – eddigi ismereteink szerint – soha nem haladta meg a $\pm 5^\circ\text{C}$ -os eltérést (Grassl, 2000). A Föld légköre melegszik, bár nem teljesen egyértelmű a szárazföldi felmelegedés regionális eloszlása, ugyanis nemcsak számértékben figyelhetők meg különbségek, hanem előjelben is (Konecsny, 2002). A jelenlegi felmelegedést, a paleogeográfiai tények ismeretében, egy természetes folyamatként kell kezelni. A kérdés csupán az, hogy az ember, mint meghatározó környezeti tényező, tevékenysége által milyen hatással van a bolygó éghajlatára.

Célunk volt, hogy a Tisza vízgyűjtőjére vonatkozó optimális klímaszcenáriót és a fo-

lyó várható vízhozamváltozását, valamint az eddigi geomorfológiai vizsgálati eredményeket összevetve, vázoljuk a jövő árvizeinek lehetséges kialakulását, és megoldási lehetőséget keressünk az árvízvédelem további eredményes fejlesztésére. Fontos a megfelelő válaszlépést megtenni a hullámtéri feliszapolódás és a klímaváltozás által támasztott kihívásokra, ugyanis a Tisza vízrendszerében a jövőben a további gátmagasítások az anyagi és fizikai lehetőségeket meghaladják.

VÁRHATÓ KLÍMAVÁLTOZÁS A TISZA VÍZGYŰJTŐJÉN

A Tisza magyarországi részvízgyűjtő területén az éves középhőmérséklet a mért adatok alapján, az elmúlt száz évben 0,5–0,6 °C-kal nőtt (Szalai, 2003; Konecsny, 2004). A melegeedés nem volt folyamatos, ugyanis felmelegedő és lehűlő szakaszok váltották egymást, az utolsó három évtizedben a melegeedés mértéke jelentősen megnövekedett (Szalai, 2003). A folyó vízgyűjtőjén megfigyelhető gyors pozitív átlagos hőmérsékletváltozás alapja lehet a közelmúltban bekövetkezett természeti katasztrófáknak. A gyakori természeti veszélyforrások (árvizek és tömegmozgások) miatt az összvízgyűjtő terület a különböző tudományok és nemzetközi kutatási projektek fókuszába került (Gauzer – Bartha, 1999; Illés – Konecsny, 2000; Nováky, 2000, 2003; Pálfi, 2004, 2007, 2009; Schweitzer, 2001; Konecsny, 2002; Szalai, 2003; Szlávik, 2003; Dövényi, 2005; Dubis et al., 2006; Radvánszky – Jacob, 2008, 2009; valamint CLAVIER; VAHAVA).

A Tisza vízgyűjtőjének a vízgazdálkodás és a geomorfológia szempontjából fontos éghajlati tényezőit, valamint a felszíni lefolyás várható tér- és időbeli változását vizsgáltuk a REMO 5.1 regionális klímamoddellel (Jacob, 2001; Semmler et al., 2004; Gálos et al., 2007, 2009). Munkánk alapjául az „ENSEMBLES” (<http://ensembles-eu.metooffice.com/>) területre lefuttatott regionális klímamodell (REMO) által produkált órás adatok szolgál-

tak. A vizsgált időszak hossza harminc év. A kontrollidőszak az 1961-től 1990-ig terjedő időszak, a vizsgált jövőbeli időtartomány: 2061–2090 (éghajlati forgatókönyv). A jelen tanulmányban felhasznált adatok 0,44° (kb. 50×50 km) horizontális felbontásúak. Az éghajlati forgatókönyv elkészítéséhez az A1B¹ scenáriót alkalmaztuk. A scenárió és a kontrollidőszakban történt szimuláció összehasonlításából a vizsgált területen az éghajlatváltozás nagyságára következtethetünk. Az elemzett modelldatok nagysági és térbeli eloszlásának ábrákon történő bemutatása a GRADS (Grid Analysis & Display System) segítségével történt.

A klímaváltozás egyik érzékeny mutatója a folyók vízhozama. A lefolyási modell (Hydrological Discharge, HD; Hagemann, 1998) segítségével a Tisza jövőbeni vízhozammennyiség-változásának vizsgálatát is elvégeztük Zentánál, közel a folyó torkolatához. A munkánk során a HD modell inputjául a REMO modell által generált lefolyási adatokat használtuk. A HD modell horizontális felbontása 0,5°, azaz 55×55 km. A vízhozam-előrejelzésnél húsz évet vizsgáltunk 2071–2090 között, az 1971–1990-es kontrollidőszakhoz képest.

¹ Az A1 cselekmény- és forgatókönyvcsalád egy olyan jövő világot ír le, amelyben nagyon gyors a gazdasági növekedés. A globális népesség, amely az évszázad közepén tetőzik, utána csökken. Gyors az új és hatékonyabb technológiák bevezetése. A legfőbb alaptémák a régiók közötti konvergencia, kapacitásépítés és növekvő kulturális és szociális kölcsönhatás, miközben csökkennek az egy főre jutó jövedelmek közötti regionális különbségek. Az A1 forgatókönyvcsalád három csoportba fejlődik, amelyek az energiatermelő rendszerek technológiai változásának alternatív irányait írják le. A három A1 csoportot az alábbi technológiai hangsúlyok különböztetik meg: erősen fosszilis (A1FI), illetve nem fosszilis energiaforrások (A1T) vagy egyensúly az összes forrás között (A1B).

A Tisza vízgyűjtő területének hőmérsékleti viszonyai

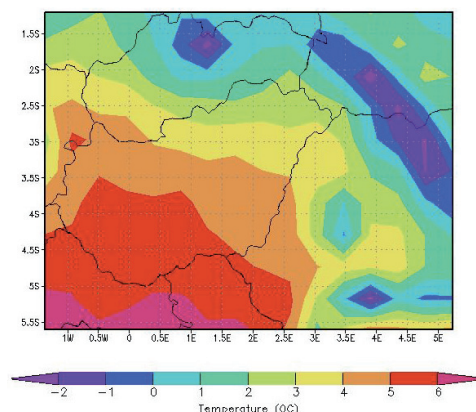
A hőmérséklet és a csapadék viszonyát vizsgálva, a *Clausius-Clapeyron egyenlet* alapján elmondható, hogy az átlagos hőmérséklet növekedése fokozza a globális vízkörzést (Grassl, 2004), amely hatással van az exogén erőkre. A hőmérséklet más éghajlati tényezők (párolgás, hómenyiség) alakulását is meghatározza. A vízgyűjtő terület hőmérséklete, a mért adatok alapján, júliusban éri el a maximumát, minimuma januárban van. A havi átlagos hőmérsékletek a jövőben (2061/2090–1961/1990), az év minden hónapjában, növekedni fognak (Radvánszky – Jacob, 2009). A jövőbeni 30 éves átlagos téli (DJF²) hőmérséklet abszolút értéke mindenhol meghaladja a vízgyűjtő alföldi részén a 0 °C-ot, a minimumát (–2 °C) a Kárpátok tetőrégióiban éri el (2. ábra). A nyári (JJA) évszak átlagos hőmérsékletmaximuma a Tisza alsó szakaszának területére várható, amelynek értéke elérheti a 25–26 °C-ot. A hegyvidéki területekre átlagosan 15–16 °C-ot prognosztizál a modell (3. ábra).

A Tisza vízgyűjtő területének csapadékviszonyai

A vizsgálat eredményei alapján megállapítható, hogy a csapadékmennyiség változásának nagysága 2061–2090-ben, az 1961–1990-es időszakhoz viszonyítva, térben és időben különböző lesz. A modell szerint azon évek száma, amelyekben az évi csapadékmennyiség 700 mm felett van, 31,25%-kal csökken, az 550 mm-nél kevesebb évi csapadékmennyiséggel jellemzett évek száma háromszorosára nő. Éves csapadéknövekedés a Tisza vízgyűjtő síksági részén (max. 6%) és az Északkeleti-Kárpátok területén (6–9%) várható. A legnagyobb csökkenést a jövőben az Erdélyi-medence szenved el, a csökkenés mértéke 6–15% (Radvánszky – Jacob, 2008).

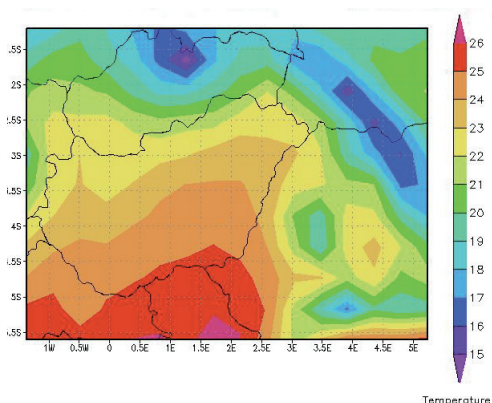
² Hónapok nevei a kezdőbetűvel rövidítve.

2. ábra



Téli átlagos hőmérséklet 2061–2090 között

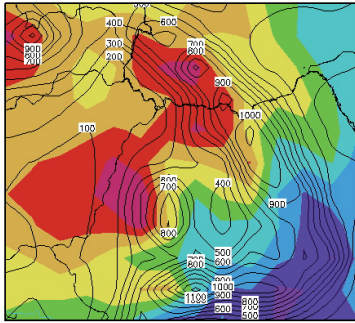
3. ábra



Nyári átlagos hőmérséklet 2061–2090 között

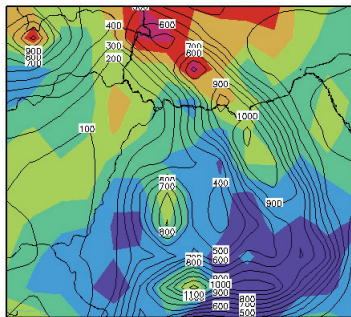
Az átlagos éves csapadéérték nem tükrözi a csapadék éven belüli eloszlását. A részletesebb csapadékváltozás megismerése érdekében megvizsgáltuk az évszakos és a havi várható értékbeli és területi változást. Télen (DJF²) a szezonális csapadékmennyiség csökkenése figyelhető meg az Erdélyi-medencében, a csökkenés értéke 5%. A vízgyűjtő terület többi részén szezonális csapadékmennyiség-növekedést jelez a modell. A legnagyobb növekedés (15–20%) az Ung, a Latorca, a Felső-Tisza és a Körösök vízgyűjtő területén várható (4. ábra).

4. ábra



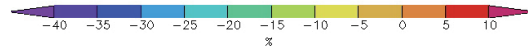
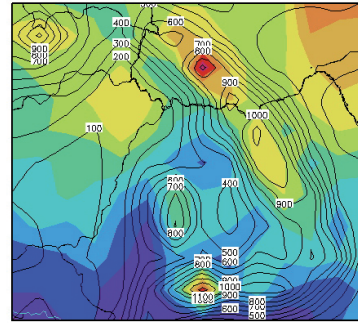
**Relatív átlagos téli csapadékváltozás
a Tisza vízgyűjtő területén,
2061–2090/1961–1990 (%)**
(A kontúrvonalon feltüntetett értékek
a tszf-i magasságot jelzik)

5. ábra



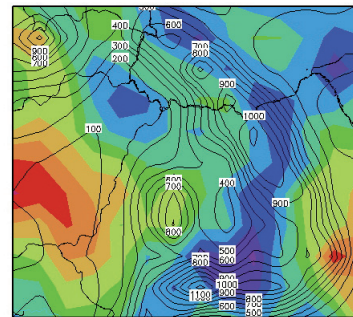
**Relatív átlagos tavaszi csapadékváltozás
a Tisza vízgyűjtő területén,
2061–2090/1961–1990 (%)**
(A kontúrvonalon feltüntetett értékek
a tszf-i magasságot jelzik)

6. ábra



**Relatív átlagos nyári csapadékváltozás
a Tisza vízgyűjtő területén,
2061–2090/1961–1990 (%)**
(A kontúrvonalon feltüntetett értékek
a tszf-i magasságot jelzik)

7. ábra



**Relatív átlagos őszi csapadékváltozás
a Tisza vízgyűjtő területén,
2061–2090/1961–1990 (%)**
(A kontúrvonalon feltüntetett értékek
a tszf-i magasságot jelzik)

Tavasszal (MAM), a téli időszakhoz képest az Erdélyi-medencére prognosztizált csapadékmennyiség-csökkenés területe Ny és ÉNy felé növekszik. Relatív pozitív anomália figyelhető meg a Nyírség felett, amely nyáron is kialakul (5. ábra).

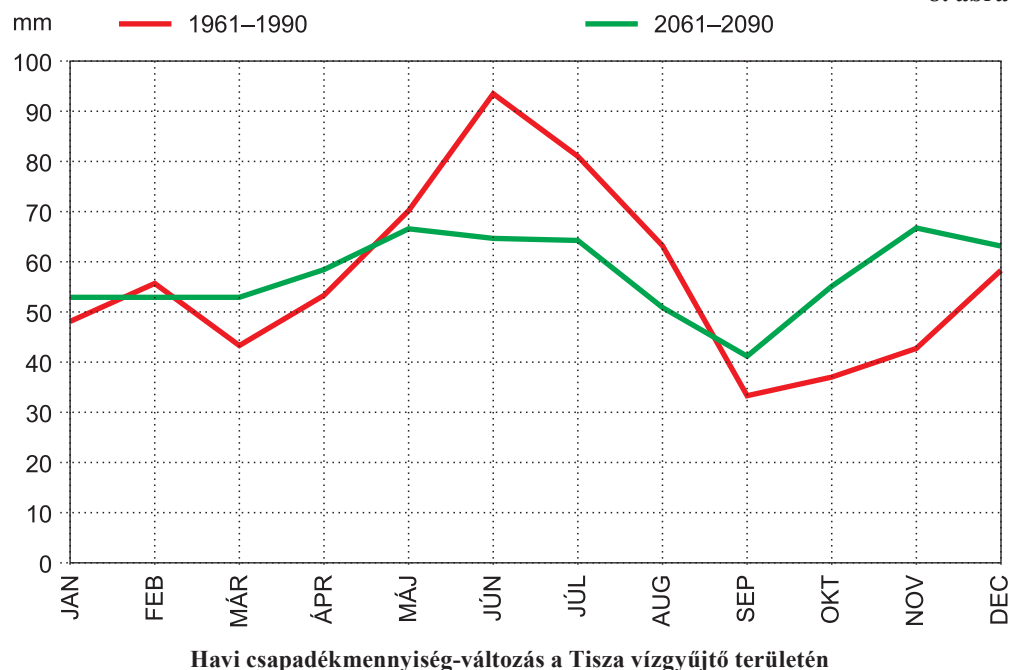
A nyári időszakban (JJA), a vizsgált jövőbeni harminc évben, a kontrollidőszakhoz képest a teljes vízgyűjtő területen csak a Máramarosi-havasokban várható kb. 5–10%-os szezonális csapadékmennyiség-növekedés (6. ábra). Ha a Nagy-Bihar (1849 m) és a Ki-

rály-hegy (1948 m) között képzeletbeli tengelyt húzunk, akkor a tengelytől DNy-ra az őszi (SON) csapadékmennyiség-változás pozitív, ÉK-re negatív. A legnagyobb pozitív változással (12–15%) a Közép-Tiszán kell számolni (7. ábra).

Az éven belüli csapadékeloszlást tekintve, a modell az átlagos havi csapadékmennyiség csökkenését jelzi februárban, májusban, júniusban, júliusban és augusztusban. Az év többi – főleg őszi – hónapjában növekedés várható. Az évi csapadékmennyiség nyár eleji első maximuma csökken, őszi másodmaximuma növekszik. A mennyiségi változások egyenletesebbé teszik a csapadék évi járását a megfigyelt Szenárió-időszakban (8. ábra). Az eddigi vizsgálatok is a nyári negatív és a téli pozitív csapadékmennyiség-változást prognosztizáltak a Kárpát-medencében. Az átmeneti évszázadoknál a különböző modellek eltérő irányú változást jeleztek a jövőre (Bartholy *et al.*, 2006, 2007).

Érdekes a havi változást kisebb részvízgyűjtőkön megvizsgálni, ugyanis az éghajlati Szenáriók a modellek peremfeltételül szolgáló adatoktól függenek. Egyik ilyen peremfeltétel a vizsgált terület domborzati viszonya. A Tisza vízgyűjtőjének domborzati adottsága változatos, ami kisebb, különböző természeti tulajdonságokkal rendelkező részekre osztja a vízgyűjtőt. A tanulmány terjedelmi korlátai miatt csak a Felső-Tisza vízgyűjtőjének (13 173 km², a Szamos torkolatáig – 688 fkm) az éves első-csapadékmaximumhoz (MJJ) és az őszi másod-csapadékmaximumhoz (OND) tartozó hónapok átlagos napi csapadékváltozását mutatjuk be. Májusban 15%-kal csökken az átlagos havi csapadékmennyiség az éghajlati forgatókönyv időszakában 1961–1990-hez képest. A hónap átlagos napi csapadékmennyiség-szórása 0,71 a kontrollidőszakban, a várható szórási érték 2061–2090 között 1,2. Az átlagos júniusi csapadék is csökkeni fog a jövőben, a csökkenés mértéke eléri

8. ábra



a 33%-ot a folyó felső szakaszán. A júliusi összcsapadék-mennyiség minimálisan, 0,1 mm-rel nő a szcenárió-időszakban a kontrollidőszakhoz képest. Májusban és júniusban folyamatosan növekvő tendencia figyelhető meg a napi csapadékmennyiségben 1961–1990 között (május: $y=0,0385x+1,2252$; $R^2=0,30417$, június: $y=0,0186x+1,6384$; $R^2=0,6055$) a részvízgyűjtő területén. Az 2061–2090-es időszakban ez a növekvő tendencia csökken mind a két hónapban, májusban ($y=0,0097x+1,4026$; $R^2=0,02165$) és júniusban ($y=0,0083x+1,3577$; $R^2=0,01368$). Júliusban mind a két vizsgált 30 éves időszakban csökkenő tendencia figyelhető meg az átlagos napi csapadékeloszlásban (9. ábra). A jövőben a REMO a csökkenés fokozódását prognosztizálja ($y=-0,0484x+2,3581$; $R^2=0,20118$) az 1961–1990-es időszakhoz képest ($y=-0,0062x+1,68$; $R^2=0,00808$).

A másod-csapadékmaximumkor az átlagos havi csapadékösszeg októberben és decemberben növekszik, 19,0 és 21,5%-kal. A napi csapadékmennyiség szórásértéke mind a két hónapban a kontrollidőszakban nagyobb, mint a forgatókönyvi időszaké. Ellenben novemberben a havi csapadékmennyiség csökkenése várható, 61,4 mm-ről 55,2 mm-re. A napi csapadékatatok szórási értéke 3,5-szeresére nő 2061–2090/1961–1990. Októberben az átlagos napi csapadékmennyiség növekvő tendenciát mutat ($y=0,0119x+1,1656$; $R^2=0,01886$) a hónap kezdetétől a hónap végéig a kontrollidőszakban, a szcenárió-időszakban ez a tendencia csak fokozódik ($y=0,0341x+1,0703$; $R^2=0,10083$) 1961–1990-hez képest. Novemberben ellenkező tendenciák érvényesülnek a hónapon belüli napi csapadékmennyiségek alapján. A kontrollidőszakban növekvő ($y=0,009x+1,1656$; $R^2=0,01563$), a jövőben csökkenő ($y=-0,0177x+2,1145$; $R^2=0,05571$) a viszonyítási 30 évhez. Decemberben is ellenkező a két időszak tendenciájának iránya, a novemberitől eltérően, a várható átlagos napi csapadékösszegek növekedése prognosztizálható a hónapon belül ($y=0,0174x+1,8729$; $R^2=0,04561$) a kontrollidőszak csökke-

nő tendenciájához ($y=-0,0348x+2,3284$; $R^2=0,48054$) képest (10. ábra).

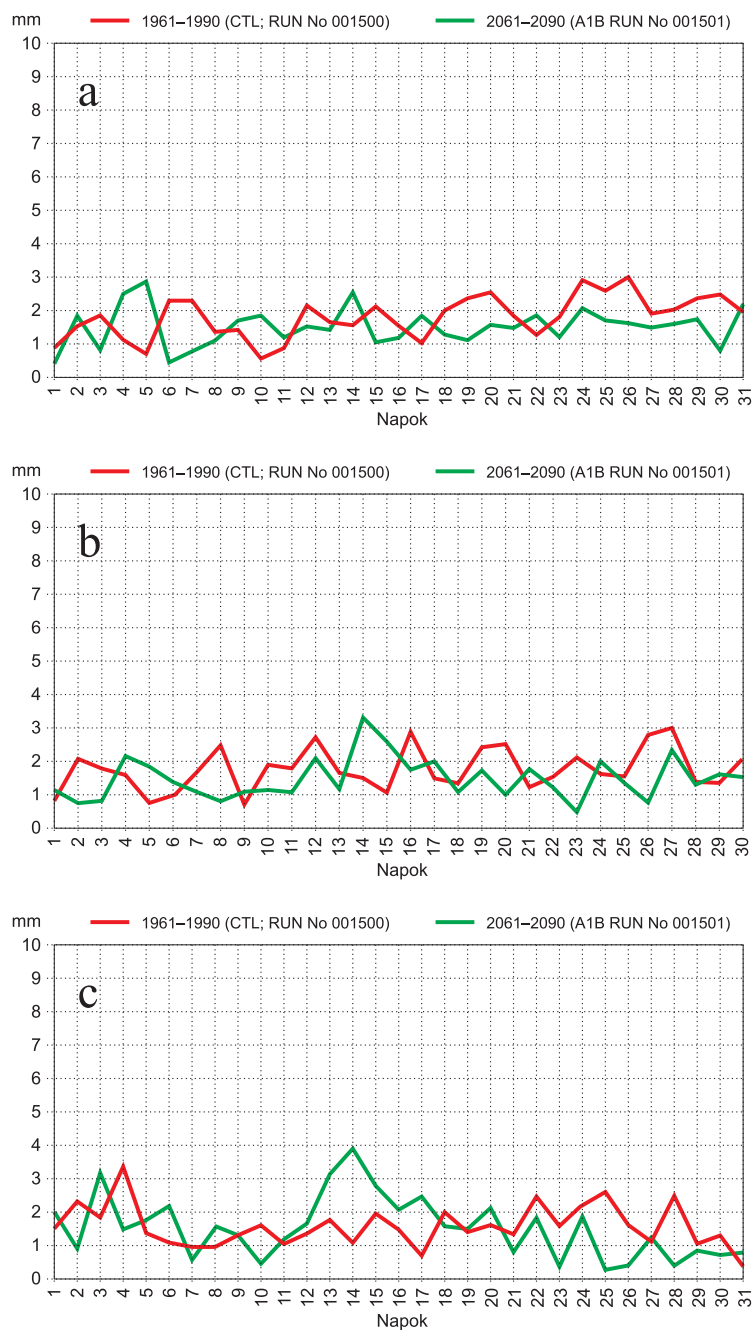
A csapadék télen hó formájában éri el a földfelszínt. A tél végi, tavasz eleji hóolvadás nagy szerepet játszik a Tiszán és annak mellékfolyóin kialakuló tavaszi árhullámban. A regionális klímamodell a 157 200 km²-re télen (DJF) hőmennyiség-csökkenést jelez 2061–2090-ben a kontrollidőszakhoz képest. A legminimálisabb csökkenés a Máramarosi-havasokban figyelhető meg, de ezen a területen is a csökkenés értéke meghaladja az 50%-ot. A legnagyobb változást, 87–90%-ot, az Erdélyi-szigethegység DNy-i és a Déli-Kárpátok Ny-i előterében prognosztizál a modell (Radvánszky – Jacob, 2008).

A lefolyásviszonyok

A REMO-modell adatai alapján az éves felszíni lefolyás az Északkeleti-Kárpátokban eléri a 450 mm-t. A lefolyás maximum értéke a Máramarosi-havasoknak a Kárpát-medence felőli lejtőin figyelhető meg, mert itt éri el az éves csapadékmennyiség a legnagyobb értékét. A modell a múltban megfigyelt harminc évhez képest a jövőbeni harminc évre a Tisza vízgyűjtő síksági területén 40%-ig, az Északkeleti-Kárpátokban 20%-ig terjedő pozitív növekedést jelez. A vízgyűjtő többi részén a felszíni lefolyás mennyiségének csökkenése várható: a legnagyobb az Erdélyi-medencében, ahol a modell szerint a csökkenés eléri a 40–50%-ot (11. ábra). A lefolyási együttható (felszíni lefolyás és a csapadékmennyiség aránya) klímaváltozás-szignáljának tér- és mennyiségbeli eloszlása szoros kapcsolatot mutat a felszíni lefolyás tér- és mennyiségbeli változásával (12. ábra).

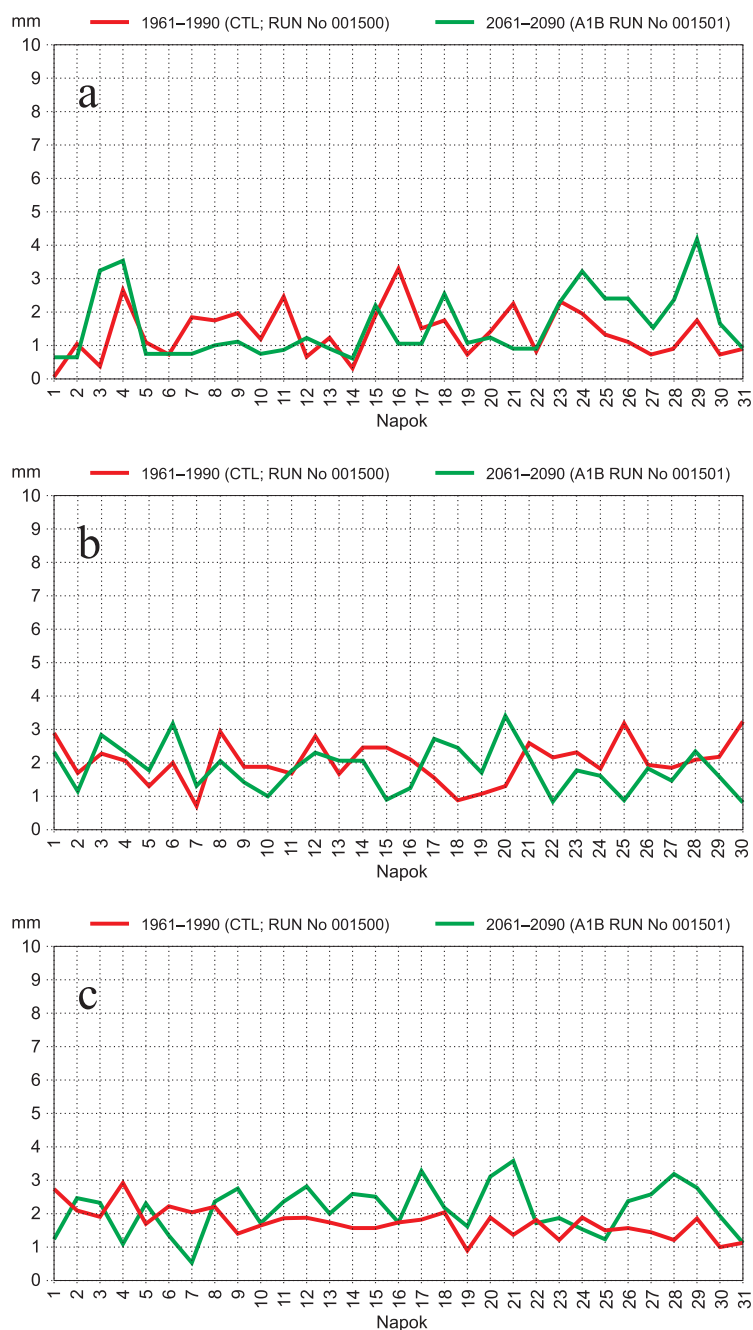
A klímaváltozás hatásai leghamarabb a folyók vízhozamában tükröződnek. Egyes szelvényekre alkalmazott eseti vizsgálatok kimutatták az éves vízhozamcsökkenést a XX. században (Nováky, 2000). A 46. északi szélességi körnél lévő Tisza rácskockájára vonatkozó HD modell érvényességi futtatás adatait összehasonlítottuk a Szegednél mért

9. ábra



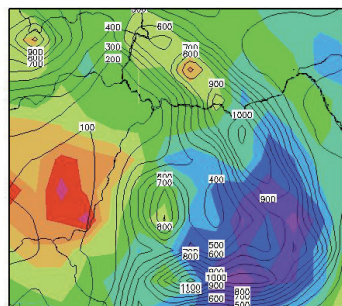
A napi csapadékmennyiség-változás a Felső-Tisza vízgyűjtő területén
(a– május, b– június, c– július)

10. ábra



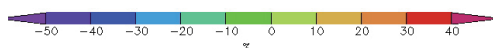
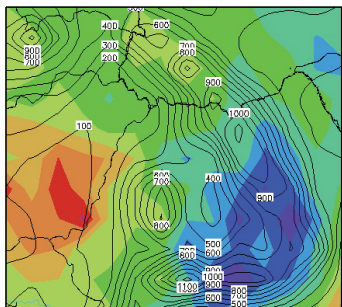
A napi csapadékmennyiség-változás a Felső-Tisza vízgyűjtő területén
(a– október, b– november, c– december)

11. ábra



**Relatív átlagos felszíni lefolyásváltozás
a Tisza vízgyűjtő területén
2061–2090/1961–1990 (%)**
(A kontúrvonalon feltüntetett értékek
a tszf-i magasságot jelzik)

12. ábra



**Relatív átlagos lefolyásintéyzőváltozás
a Tisza vízgyűjtő területén
2061–2090/1961–1990 (%)**
(A kontúrvonalon feltüntetett értékek
a tszf-i magasságot jelzik)

lefolyási adatokkal, s ezzel a modell pontosságát teszteltük (Radvánszky – Jacob, 2008).

A HD modell révén a múlt (1971–1990) és jövő időszak összehasonlításának eredményeként értékelhető a havi lefolyás klímaváltozásának szignálja Zentánál (13. ábra). A modell előrejelzése szerint a Tisza vízhozamában, februárban és márciusban átlagosan 12%-os

13. ábra



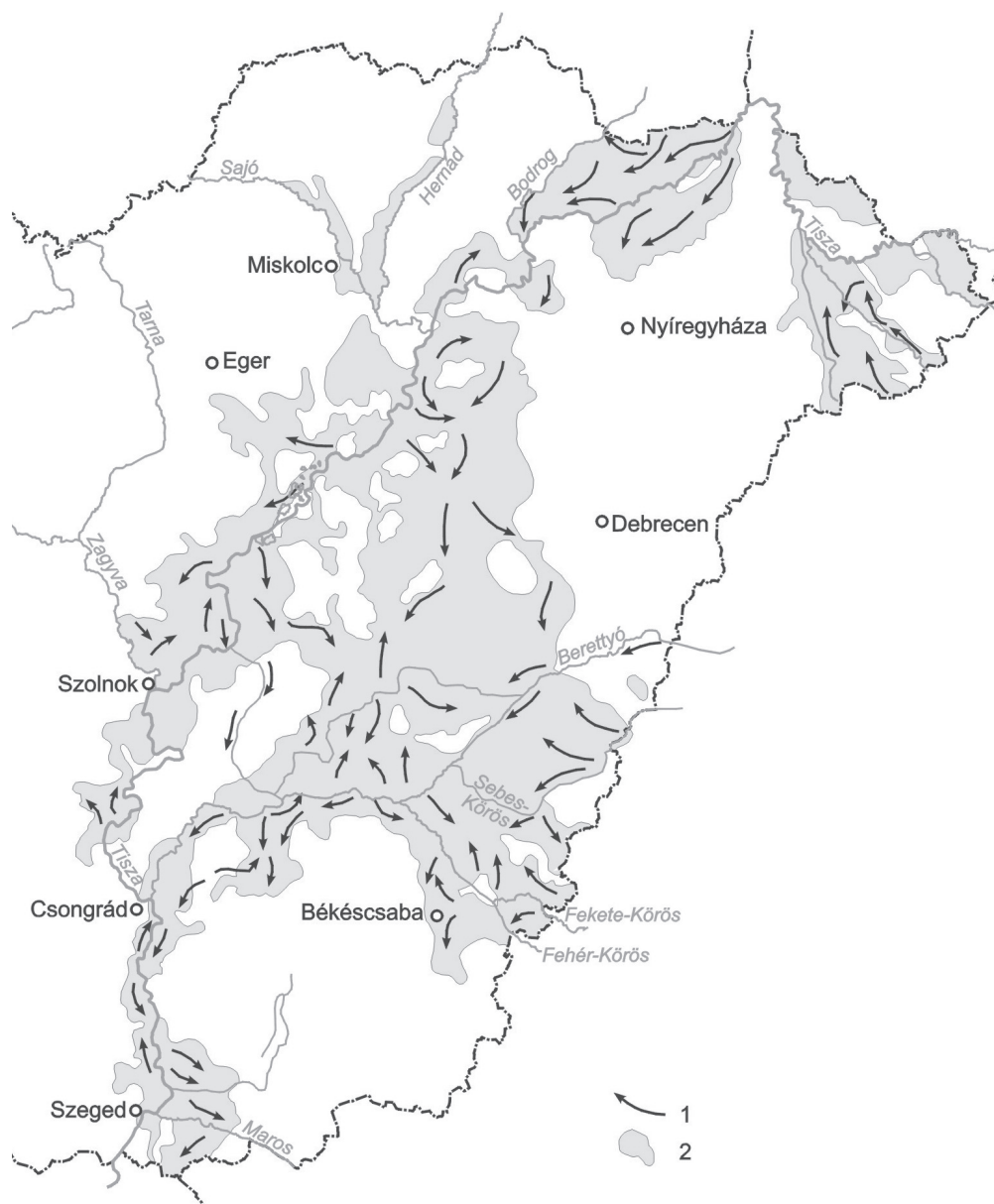
**Relatív havi lefolyásmennyiség-változás
a Tiszán Zentánál
2071–2090/1971–1990 (%)**

csökkenés várható. Ezt követően áprilisban és májusban növekedés figyelhető meg a Tisza torkolata előtt. Nyáron és ősszel a lefolyás mennyisége a jövőben csökkenni fog. A legnagyobb csökkenést (31%) a modell szeptemberre jelzi. A nyári nagyarányú vízhozamcsökkenésnek a peremfeltételül szolgáló REMO-adatok túlzott nyárra prognosztizált csapadékcsökkenése és az általa befolyásolt lefolyási mennyiség változása az oka. A kontroll- és a szcenárió-időszakban modellezett éves vízhozammennyiség csökkenő tendenciát mutat.

A MAGYARORSZÁGI TISZA-VÖLGY ÁRVÍZVÉDELMI BIZTONSÁGA

Nyilvánvaló, hogy a természeti környezet egyik nagy fontosságú tényezője, a vízviszonyok megváltoztatása – kölcsönhatásban a tájjal – más környezeti tényezőket is érint, befolyásol, esetleg átalakít (14. ábra). A folyószabályozással és erdőirtással elősegített fokozódó felszíni lefolyás súlyos következménye az erodáló képesség általános felerősödése. A védőkoronájától megfosztott vízgyűjtő felszínekről gyorsabban lefolyó vizek egyre több laza üledéket szállítottak a medrekbe, miáltal azok hordalékszállítása jelentősen fokozódott.

14. ábra



A Tisza és mellékfolyóinak árvízjárta területei és árvízi kitörései a szabályozások előtt

Forrás: Ihrig, 1973

A Tisza vízgyűjtőjén az ezredforduló közeli években, 1998–2001 között sorozatban következtek be a rekordnagyságú árvíz hullámok, amelyek oka lehet a feltételezett klímaváltozás és az antropogén beavatkozások együttes hatása:

– Az 1998–1999. évek csapadékos időjárása következtében jelentősen megnövekedtek a belvizek és a talajvízszint.

– Az 1998. év akkor még „évszázad árvízének” minősített ár hullámát 2000-ben követte a Szolnokon 1041 cm-en tetőzött még nagyobb árvízi fenyegetettség. Ezeket csak számos összetevő kedvező hatása és az árvízvédelmi feladatokat ellátó emberek helytállása tudta nagy szerencsével megfékezni. Mi történik, ha ez újra megismétlődik?

– A 2001. március 6-án Tarpa térségében röviddel egymásután két töltésszakadás is történt (1. kép).

Az 1999-től belvizes borítottság fokozott veszélye napjainkig is fennáll (pl. 2006. március közepén az Alföldön 270 000 ha).

A Tisza-völgy árvízvédelmi biztonságának fokozására kidolgozott új *Vásárhelyi Terv Továbbfejlesztése* (VTT) koncepció (Váradi – Nagy, 2003) a rendkívüli árvizek károkozás nélküli levezetése érdekében egyik alapvető feladatának tekinti a folyó nagyvízi medrének rendezését. A Tisza hullámterén jelentős változások – főként feltöltődések – következtek be, amely napjainkban is folyamatos, az árvízvédelmi biztonságra gyakorolt hatásaival az elkövetkezőkben is számolni kell (Babák, 2003, 2004, 2006).

A belterületek az árvízi biztonság fokozásával fokozatosan lenőttek az alacsony ártérre, ez jellemző a Tisza mente számos településére.

A belvízkárok növekedése szoros összefüggést mutat azzal, hogy a befogadó vízfolyások feltöltődése miatt a belvizek gravitációs lefolyási lehetőségei időben korlátozódtak, megnövekedtek. A belvízlevezető csatornák vízszállító képessége csapadékos években meghaladja a 10 m³/s-et, amely tavaszi szélsőséges csapadékesemények olvadással egybeeső időszakában növekedhet. Ez fel-

1. kép



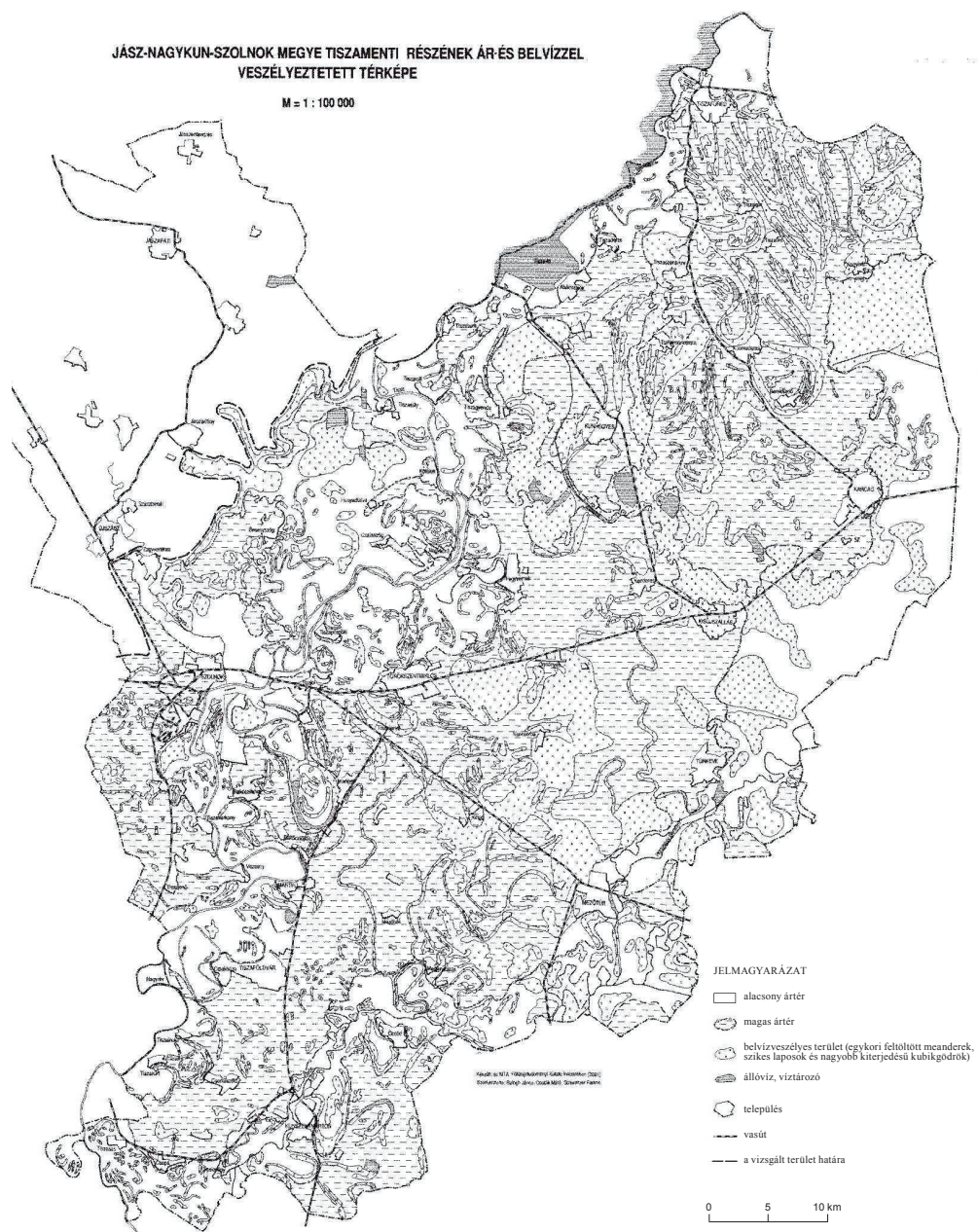
Gátszakadás Tarpánál

mérhető korábbi hordalékmérési adatok híján abból is, hogy a szabályozások előtt a hajózható szakaszon napjainkban, a mederben lerakódó hordalék miatt Szolnok és Csongrád közötti szakaszon nehézkes a hajózás. A gyorsuló hordalék másik megnyilvánulása az, hogy árvizek alkalmával erősen jelentkezik a mederből kilépő víz övzátónyépítő hatása a hullámtéren.

A szabályozások befejezése óta megváltozott a vízfolyás finomhomok-frakciót szállító képessége. A szabályozások előtti időben keletkezett réti és hidromorf talajokban és a talajképző üledékekben az iszap- és löszfrakció aránya, valamint az agyagtartalom lényegesen magasabb volt. Radioaktív izotópok segítségével is volt lehetőség keletkezési, leülepedési időszakok meghatározására jelen esetben, mert a legfelső 0,30 m-es üledékekben határozott ¹³⁷Cs maximum anomáliát detektáltak (Braun et al., 2001). Az első olyan nagy ár hullám 1986-ot követően, amelynek magassága meghaladhatta a szolnoki övzátóny magasságát, 1998-cal kezdődően fordult elő. Ebből arra következtethetünk, hogy abban a néhány évben 0,25–0,30 m-rel növekedhetett az övzátóny magassága (árvízi átlagban: 0,10 cm/árvíz).

Meg vagyunk győződve arról, hogy a Közép-Tisza mentén az árvízszintek aránytalan növekedésében az övzátónyoknak, a hullámtéri feltöltődésnek és ártéri vegetációnak nagy szerepe van (15. ábra).

15. ábra



Jász-Nagykun-Szolnok megye Tisza menti részének ár- és belvízzel veszélyeztetett területei

Ezek a folyamatok csak egyre jobban fokozódnak, a vízhozam-előrejelzési vizsgálatoknál megfigyelt hosszan elnyúló tavaszi nagy vízhozamok révén. A várható havi csökkenő csapadékmennyiség mellett a napi mennyiség szórásának növekedése a csapadékhullás extremitását jelzi, ami az eróziós tevékenységet növeli és a kisebb részvízgyűjtőkön a villámárvizek (flash flood) kialakulását eredményezi.

KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

A munka alapját jelentő kutatásokban sok segítséget kaptunk a *Deutsche Bundestiftung Umwelt alapítványtól*, a hamburgi *Max Planck Meteorológiai Intézetétől* és a *Science, Please! Innovatív Kutatói Team* (TÁMOP-4.2.2/08/1/2008-0011) pályázattól. Külön köszönjük a lektor szakmai véleményét, értékes javaslatait és észrevételeit.

FORRÁSMUNKÁK JEGYZÉKE

- (1) Адаменко, М. О. – Гродецкая, Ф. Д. (1987): Антропоген Закарпаття. Академия наук молдавської ССР, Кишинев, 127 p. (2) BABÁK K. (2003): A hullámterek bővítésének szükségessége a Tisza magyarországi vízrendszerében. In: Fülek Gy. (szerk.): A táj változásai a Kárpát-medencében. Az épített környezet változása. A Szent István Egyetemen Gödöllőn 2002. július 2–4. között tartott tudományos konferencia kiadványa, Gödöllő, 85–87. pp. (3) BABÁK K. (2004): A „Vásárhelyi-terv” a XXI. században. In: Fülek Gy. (szerk.): A táj változásai a Kárpát-medencében. Víz a tájban. A Körös–Maros Nemzeti Park Körösvölgyi Látogató Központjában Szarvason 2004. július 1–3. között tartott tudományos konferencia kiadványa, Gödöllő, 93–97. pp. (4) BABÁK K. (2006): A Körösök menti települések árvízi veszélyeztetettsége. In: Fülek Gy. (szerk.): A táj változásai a Kárpát-medencében. Település a tájban. A Szent István Egyetem Tokajban 2006. június 28–30. között tartott tudományos konferenciája kiadványa, Gödöllő, 158–161. pp. (5) BARTHOLY J. – PONGRÁCZ R. – GELYBÓ GY. (2007): A XXI. század végére várható regionális éghajlatváltozás Magyarországra. Földrajzi Értesítő 81. (3–4), 147–167. pp. (6) BARTHOLY J. – PONGRÁCZ R. – TORMA CS. – HUNYADY A. (2006): A Kárpát-medence térségére a XXI. századra várható klímaváltozás becslése. In: A III. Magyar Földrajzi Konferencia tudományos közleményei, CD-ROM. MTA Földrajztudományi Kutatóintézet, Budapest, 11 p. (7) BORSY Z. (1989): Az Alföld hordalékkúpjainak negyedidőszaki fejlődéstörténete. Földrajzi Értesítő 38., 211–224. pp. (8) BRAUN M. – DEZSŐ Z. – HADADY GY. (2001): A Tisza bal part, Szolnok övzátony (árapasztó) fejlődésének rekonstrukciójáról (kézirat). (9) BULLA B. (1941): A Máramarosi Kárpátok periglaciális jelenségeiről. Földtani Közlöny, 194–205. pp. (10) CSATÁRI B. (szerk.) (2001): A Tisza-vidék problémái és fejlesztési lehetőségei. FVM Vidékfejlesztési Főosztályának Kiadványa, Kecskemét (<http://www.alfoldinfo.hu/tisza/tiszakotet3.html> 2010.03.02.). (11) DÖVÉNYI Z. (2005): Az árvizek település- és településhálózat-formáló hatása a Felső-Tisza-vidéken. Földrajzi Értesítő 54., 85–109. pp. (12) DUBIS, L. – KOVALCHUK, I. – MYKHNOVYCH, A. (2006): Extreme geomorphic processes in the Eastern Carpathians: spectrum, causes, development, activization and intensity. *Studia Geomorphologica Carpatho-Balcanica* 40., 93–106. pp. (13) GÁBRIS GY. – NÁDOR A. (2007): Long-term fluvial archives in Hungary: response of the Danube and Tisza rivers to tectonic movements and climatic changes during the Quaternary – review and new synthesis. *Quaternary Science Reviews* 26/22–24., 2758–2782. pp. (14) GÁLOS B. – LORENZ, P. – JACOB, D. (2007): Will dry events occur more often in Hungary in the future? *Environmental Research Letters* 2: 034006, doi:10.1088/1748-9326/2/3/034006 (15) GÁLOS B. – LORENZ, P. – JACOB, D. (2009): Szélsőségesebbé válnak száraz nyaraink a 21. században? „Klíma-21”

Füzetek 57., 56–63. pp. (16) GAUZER B. – BARTHA P. (1999): Az 1970. és 1998. évi felső-tiszai árhullámok összehasonlítása, árvízi szimulációs vizsgálatok. Vízügyi Közlemények 81., 354–387. pp. (17) GRASSL, H. (2000): Klima und Wasser. Klimaveränderung und Konsequenzen für die Wasserwirtschaft. Arbeitskreis KLIWA, Heft 1., 23–31. pp. (18) GRASSL, H. (2004): Mit tudunk és mit nem a klímaváltozásról? Természet Világa 3., 110–114. pp. (19) HAGEMANN, S. (1998): Entwicklung einer Parametrisierung des lateralen Abflusses für Landflächen auf der globalen Skala. Dissertation, 22–43. pp. (20) IHRIG D. (szerk.; 1973): A magyar vízszabályozás története. Országos Vízügyi Hivatal, Budapest, 398 p. (21) ILLÉS L. – KONECSNY K. (2000): Az erdő hidrológiai hatása az árvizek kialakulására a Felső-Tisza vízgyűjtőjében. Vízügyi Közlemények 82., 167–197. pp. (22) JACOB, D. (2001): A note to the simulation of the annual and inter-annual variability of the water budget over the Baltic Sea drainage basin. Meteorology and Atmospheric Phy. 77., 61–73. pp. (23) JÁNOSSY D. (1979): A magyarországi pleisztocén tagolása gerinces faunák alapján. Akadémiai Kiadó, Budapest, 207 p. (24) KONECSNY K. (2002): A Felső-Tisza-vidék időjárási és vízjárási viszonyainak változása a XX. században. In: Frisnyák S. (szerk.): A Nyírség és a Felső-Tisza-vidék történeti földrajza. Nyíregyháza, 41–49. pp. (25) KONECSNY K. (2004): Az éghajlatváltozás kimutatható jelei felső-tiszai éghajlati és hidrológiai idősorokban. (<http://www.aquadocinter.hu/themes/Vandorgyules/pages/6szekcio/konecsny.htm>, 2010.03.02.) (26) KRETZOI M. (1969): A magyarországi quarter és pliocén szárazföldi sztratigráfiájának vázlata. Földrajzi Közlemények 17. (3), 197–204. pp. (27) LANG S. (1942): A Huszti kapu és a Királyházi öböl terraszmorfológiája. Földrajzi Közlemények, 169–193. pp. (28) NOVÁKY B. (2000): Az éghajlatváltozás vízgazdálkodási hatásai. Vízügyi Közlemények 82., 418–448. pp. (29) NOVÁKY B. (2003): Éghajlat és víz: bizonyságok és bizonytalanságok. Vízügyi Közlemények 85., 536–546. pp. (30) PÁLFAI I. (2004): Belvizek és aszályok Magyarországon. Hidrológiai tanulmányok. Vízügyi Közlemények 86. (1–2), 318–320. pp. (31) PÁLFAI I. (2007): Éghajlatváltozás és aszály. „Klíma-21” Füzetek 49., 59–65. pp. (32) PÁLFAI I. (2009): Aszályos évek a Kárpát-medencében a 18–20. században. „Klíma-21” Füzetek 57., 107–109. pp. (33) RADVÁNSZKY B. – IZSÁK T. (2006): Az Ős-Tisza hordalékkúpja a Huszti-kapu előterében. Acta Beregsasiensis 5., 135–149. pp. (34) RADVÁNSZKY B. – JACOB, D. (2008): A Tisza vízgyűjtőterületének várható klímaváltozása és annak hatása a Tisza vízhozamára regionális klímamodell (REMO) és a lefolyási modell (HD) alkalmazásával. Hidrológiai Közöny 88., 33–42. pp. (35) RADVÁNSZKY B. – JACOB, D. (2009): The Changing Annual Distribution of Rainfall in the Drainage Area of the River Tisza during the Second Half of the 21st Century. Zeitschrift für Geomorphologie 53. Különszám, 171–195. pp. (36) RÓNAI A. (1985): Az Alföld negyedidőszaki földtana. Geologica Hungarica 21., 412 p. (37) SCHWEITZER F. (2001): A magyarországi folyószabályozások geomorfológiai vonatkozásai. Folyóink hullámterének fejlődése, kapcsolatuk az árvizekkel és az árvízvédelmi töltésekkel. Földrajzi Értesítő 50., 9–31. pp. (38) SCHWEITZER F. (2003): A folyóink hullámterének fejlődése, kapcsolatuk az árvizekkel és az árvízvédelmi töltésekkel. In: Teplán I. (szerk.): A Tisza vízrendszere (I. kötet). MTA Társadalomkutató Központ, 107–116. pp. (39) SCHWEITZER F. (2004): On the possibility of cyclic recurrence of ice ages during the Neogen. Földrajzi Értesítő 53., 5–11. pp. (40) SEMMLER, T. – JACOB, D. (2004): Modeling extreme precipitation events – a climate change simulation for Europe. Special Issue in Planetary and Global Change 44., 119–127. pp. (41) SOMOGYI S. (1961): Hazánk folyóhálózatának fejlődéstörténeti vázlata. Földrajzi Közlemények 85. (1), 26–50. pp. (42) SOMOGYI S. (szerk.) (2000): A XIX. századi folyószabályozások és ármentesítések földrajzi és ökológiai hatásai Magyarországon. MTA FKI, Budapest, 302 p. (43) SZALAI S. (2003): A folyó vízgyűjtőjének éghajlati viszonyai. In: Teplán I. (szerk.): A Tisza vízrendszere (I. kötet). MTA

Társadalomkutató Központ, 53-66. pp. (44) SZLÁVIK L. (2003): Az ezredforduló árvízeinek és belvizeinek hidrológiai jellemzése. *Vízügyi Közlemények* 85., 545-569. pp. (45) VÁRADY J. – NAGY I. (2003): A Tisza-völgy vízgazdálkodásának jövőképe. In: Teplán I. (szerk.): *A Tisza vízrendszere* (I. kötet). MTA Társadalomkutató Központ, 117-132. pp. (46) <http://www.clavier-eu.org/> (2010.03.02.) (46) <http://www.vahavahalozat.hu/> (2010.03.02.)

SZELVÉNY- ÉS VÍZGYŰJTŐ-SZINTŰ MODELLEK ALKALMAZHATÓSÁGA A KLÍMAVÁLTOZÁS KÖRNYEZETI HATÁSAINAK ÉRTÉKELÉSÉRE

FARKAS CSILLA – HAGYÓ ANDREA

Kulcsszavak: klímaváltozás, szélsőséges időjárási jelenségek, matematikai modellek, Benchmark modellértékelési kritériumok.

ÖSSZEFOGLALÓ MEGÁLLAPÍTÁSOK, KÖVETKEZTETÉSEK, JAVASLATOK

Tanulmányunkban a klímaváltozás lehetséges hatásainak előrejelzésére alkalmas matematikai modellek értékelését végeztük el az ún. helyes modellezői gyakorlat alapelveivel összhangban. Nyolc talajszelvény-léptékű és öt vízgyűjtő-szintű matematikai modellt hasonlítottunk össze a Benchmark kritériumrendszer szerint abból a szempontból, hogy mennyiben alkalmasak a klímaváltozás víz- és tápanyagforgalomra gyakorolt hatásainak előrejelzésére hazai feltételek között. Megállapítottuk, hogy a szelvény-léptékű modellek közül a talaj vízháztartásának számítására a SWAP és a 4M modell, a tápanyagforgalom talajszelvény- és kisvízgyűjtő-szintű értékelésére a HYDRUS modell jöhet elsődlegesen szóba. A vízgyűjtő-szintű modellek közül az INCA és a SWAT modell bizonyult a legalkalmasabbnak arra, hogy eltérő klíma- és földhasználati forgatókönyvek együttes hatását vizsgáljuk az erózió okozta talajveszteség, továbbá a tápanyag-kimosódás becslésére. Az elméleti modellértékelés eredményeit minden konkrét feladat megfogalmazását követően érdemes finomítani a mintaterület és a rendelkezésre álló adatok figyelembevételével.

BEVEZETÉS

Napjaink egyik kihívása az antropogén hatások következtében végbemenő, a természeti rendszerek víz-, hő- és anyagforgalmi folyamataiban bekövetkező változások leírása és előrejelzése. Hazánkban és másutt is számos kutatás foglalkozik a különböző klíma-, tájhasználati és vízrendezési forgatókönyvek a talajok és felszíni vizek víz-, hő- és anyagforgalmára gyakorolt hatásával.

A matematikai előre jelző módszerek – többek között a matematikai modellek is – az erre irányuló kutatások fontos részét képezik. A matematikai modellek fő előnye, hogy alkalmasak összetett rendszeren belül végbemenő folyamatok és komplex rend-

szerek közötti kölcsönhatások leírására. A folyamatok fizikai hátterét integráló modellek felhasználhatók arra is, hogy szcenárió-analízis keretében vizsgálják egy adott rendszer reakcióját a megváltozott külső – pl. klimatikus – feltételekre. A matematikai modellek alkalmazásának feltétele kísérleti adatok biztosítása a modell adaptációja céljából.

A szakirodalomban számos, a talaj hő-, víz- és tápanyagforgalmának és a talajvízmérleg elemeinek becslésére alkalmas matematikai modellel találkozhatunk (*Silgram – Schoumans, 2004*). A leírt folyamatok térbeli érvényessége alapján ezek a modellek általában két csoportba sorolhatók: szelvényléptékű és vízgyűjtő-szintű modellek.

A *szelvényléptékű modellek* – vagy 1D, pontmodellek – egy konkrét talajszelvényben végbemenő változások jellemzésére alkalmasak. Ezeket a modelleket általában a referencia szelvényben mért vízmérlegelemekre (pl. talajnedvesség-dinamika, párolgás stb.) kalibrálják. A szelvényléptékű modellek adaptációja lehetővé teszi a talajvízmérleg (felszíni elfolyás, párolgás, növényi vízfogyasztás, mélybeszívargás vagy talajvízből történő „vízpótlás” stb.) és a tápanyagmérleg egyes elemeinek meghatározását. Ezen egydimenziós modellek eredményei tábla, farm vagy régió léptékben nehezen értelmezhetők. Ennek fő oka a talajtulajdonságok nagyfokú térbeli változatossága és az általánosan alkalmazható, egzakt térbeli kiterjesztést lehetővé tevő módszerek hiánya. Alternatív megoldásként a matematikai modellek térbeli kiterjesztése történhet sztochasztikus módszerrel, területi átlagértékek alapján, skálázással vagy reprezentatív talajszelvények adatainak felhasználásával (Farkas, 2002).

Általánosságban elmondható, hogy a szelvényléptékű matematikai modellek szcenárió-analízisben való alkalmazásának két fő korlátja a részletes adatigény, amelyhez általában nem áll rendelkezésre a megfelelő adathalmaz, és az, hogy a térbeli kiterjesztés problémái miatt csak a modellezett talajszelvény által reprezentált területre tudnak becslést adni a víz- és tápanyagmérlegben bekövetkező változásokról. Ezek a modellek gyakorlatilag a függőleges irányú folyamatokat veszik számba, emiatt a felszíni lefolyásra jutó hányadot csak kalibráció során lehet beállítani.

A *vízgyűjtő-szintű modellek* egy adott vízgyűjtő területére szimulálják a felszíni, felszín alatti és mederben összegyűlő víz mozgását, az eróziós folyamatokat, valamint a tápanyagok (elsősorban nitrát, ammónium és foszfátok) kimosódását. Ezek a modellek összességében több összetett folyamat leírására (a talaj telített és telítetlen rétegeiben történő vízszintes irányú vízmozgás becslésére, a felszíni vízfolyamokban történő N-átalakulási folyamatok számítására, az erózió jel-

lemzésére stb.) alkalmasak, azonban emiatt jelentős egyszerűsítéseket tartalmaznak. A vízgyűjtő-szintű matematikai modellek adaptációját követően megbízható becslés adható az egyes területi egységek víz- és tápanyagmérlegéről, valamint a felszíni vizekbe kimosódó talajszemcsék és tápanyagok mennyiségéről és transzportjáról. Az ilyen jellegű modellek alkalmazása részben tehát áthidalja a pontmodellek térbeli kiterjesztésének problémáját, azonban ezek a modellek csak elnagyoltan kezelik a szelvényléptékű folyamatokat, és alapvetően a lefolyásra, az eróziós veszteségekre és a tápanyag-kimosódásra koncentrálnak.

A kétféle térléptékű modelltypust eltérő célokkal fejlesztették. A *szelvényléptékű* inkább a mezőgazdasági termelés, öntözés, a talajvízbe áramló tápanyagok számításának igényeit szolgálja. Olyan feladatokra alkalmazzák, mint például a szénmegkötést elősegítő, talajszerkezet-kímélő és nedvességmegőrző talajművelési rendszerek kidolgozása és új területre történő adaptációja vagy az optimális öntözési stratégia kidolgozása. Ezzel szemben a *vízgyűjtő-szintű* modellek a felszíni vizekbe érkező tápanyagterhelés, a vízerózió és a vízminőség problémakörét ölelik fel. Mindkét modelleszaládnak megvan a megfelelő szerepe a kutatásban és döntéshozásban. A megalapozott következtetések akkor vonhatók le, ha egyszerre mind a két léptékben – szelvény- és vízgyűjtő-szinten – tanulmányozzák a megváltozott külső feltételek várható hatásait, kihasználva a modellek közötti átfedéseket (pl. bemenő meteorológiai adatok, talajtulajdonságok, növényi paraméterek stb.).

A *klímaváltozás agroökológiai és természetes rendszerekre gyakorolt hatásainak tanulmányozása érdekében szükséges a rendelkezésre álló modellek részletes, objektív vizsgálata és szakszerű értékelése azért, hogy mennyiben alkalmasak a klímaváltozás hatásainak rendszerszemléletű értékelésére. Ezzel lehetőség nyílik az EU Vízkeret Irányelvben és Talajvédelmi Stratégiában megfogalmazott elvárásokhoz igazodó beavatkozási*

stratégiák kidolgozására is. Ehhez kiemelten fontos a felvetett problémának megfelelő modell kiválasztása és szakszerű alkalmazása, igazodva a mintaterület sajátosságaihoz.

Jelen tanulmányban számba vettük a leggyakrabban alkalmazott, a víz-, hő- és anyagforgalmi folyamatokat szimuláló szelvény- és vízgyűjtő-léptékű, várhatóan hazai körülményekre is adaptálható vagy már adaptált matematikai modelleket. Ismertetjük a „helyes modellezési gyakorlat” legfontosabb elemeit, valamint egy megfogalmazott feladathoz legjobban illeszkedő modell kiválasztásának szempontjait.

Munkánkban összehasonlítottuk azokat a talajszelvény- és vízgyűjtő-szintű matematikai modelleket, amelyek alkalmasak lehetnek a klímaváltozás vízerózióra és tápanyag-kimosódásra gyakorolt hatásának becslésére a Kárpát-medence környezetföldrajzi viszonyai között. Célunk az volt, hogy objektív szempontok alapján kiválasszuk azokat a modelleket, amelyek a legmegfelelőbb eszközök lehetnek a klímaváltozás várható következményeinek becslésére.

ANYAG ÉS MÓDSZER

A klímaváltozás hatásait értékelő szenárió-analízis megalapozása céljából követtük az ún. „helyes modellezői gyakorlat” első három alapelvét (1-3 lépés).

A „helyes modellezői gyakorlat” kritériumrendszerének (*Van Waveren et al., 2000*) betartása segítséget nyújt abban, hogy a rendelkezésre álló eszközök közül a célnak leginkább megfelelő modellt választhassuk ki, továbbá abban, hogy ezt a modellt a legeredményesebben alkalmazzuk az adott probléma megoldása során. A „helyes modellező gyakorlat” kikerülhetetlen lépései az alábbiak:

1. Lépés: Nyissál egy modellnaplót.
2. Lépés: Állítsd össze a modellezési projekt tervét (cél, mintaterület stb.).
3. Lépés: Válaszd ki az adott projektnek legmegfelelőbb modellt a Benchmark szempontrendszer segítségével.

4. Lépés: Vizsgáld meg a munkamodell (érzékenységvizsgálat, kalibráció).

5. Lépés: A modell alkalmazása (szimuláció és bizonytalansági vizsgálat).

6. Lépés: Értelmezd az eredményeket.

7. Lépés: Foglald össze a tapasztalataidat jelentés formájában.

A modellek értékelése a Benchmark-féle modellkiválasztási kritériumok (*Saloranta et al., 2003*) szerint történt. Ez a kritériumrendszer 14 kérdést fogalmaz meg, és az ezekre adott válaszok alapján rangsorolja a számba vett modelleket. A kérdések közül az alábbiak bírnak a legnagyobb súllyal:

1. Mennyiben ad választ a modell kimenetele a feltett kérdésekre?

2. Milyen mértékben van összhangban a modell tér- és időbeli felbontása a megoldandó feladat idő- és térléptékével?

3. Mekkora tapasztalat áll rendelkezésre a modell használatát illetően a célterülethez hasonló mintaterületekre?

4. Arányban van-e a modell bonyolultsága a feladat összetettségével?

5. Egyensúlyban van-e a modell adatigénye a rendelkezésre álló adatok mennyiségével?

6. Milyen mértékben épül a modell tudományosan megalapozott, illetve empirikus összefüggésekre?

7. Mennyire rugalmas a modell adaptáció és fejlesztés szempontjából?

8. Mennyire költséges a modell használata? (Ingyenes-e a modell, olcsón beszerezhető-e a bemenő adatok, illetve igénybe vesz-e jelentős gépidőt a modell futtatása?)

A modellek számszerű értékelésének menetét a következő fejezetben ismertetjük. A pontozás egy 1-től 5 pontig terjedő skála szerint történik, ahol az 5 pont a „tökéletesen megfelel”, az 1 pont pedig az „egyáltalán nem felel meg” kategóriát képviseli. Az egyes modellek végleges értékelése a pontszámok összege alapján történik.

A Benchmark szempontrendszer segítségével nyolc talajszelvény-léptékű (SWAP, COUP, GLOBAL, 4M, HYDRUS, CERES, DrainMod és WOFOST) és öt vízgyűjtő-szin-

tű matematikai modellt (SWAT, INCA, HBV, HBV-N és HBV-NP) hasonlítottunk össze. A modellek kiválasztása során arra törekedtünk, hogy azok lehetőleg jól reprezentálják a talaj- és tájhasználatban, valamint a mezőgazdasági termelésben a klímaváltozás kapcsán esetlegesen felmerülő problémákat.

A szelvényléptékű modellek ismertetése

A szelvényléptékű modellek a nedvességforgalmi modul részletessége és fizikai háttere alapján az alábbi három csoportra oszthatók (Fodor, 2002):

1. Mérlegelvre épülő modellek (WOFOST).
2. Kapacitív modellek (CERES).
3. Konduktív modellek (SWAP, Hydrus 1D, COUP, GLOBAL és 4M).

A továbbiakban röviden ismertetjük a Benchmark módszer szerint értékelt nyolc dinamikus, determinisztikus matematikai modellt.

A WOFOST modell.

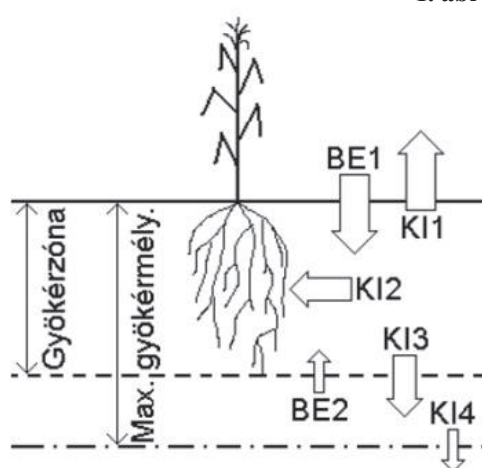
A mérlegelven működő modellek, amilyen a WOFOST, az 1970-es években kezdtek el-

terjedni, amikor már lehetőség nyílt számítógépes modellek alkalmazására a növénytermelésben, viszont a számítógépek a maihoz képest korlátozott számítási kapacitással bírtak (Berg, 1999). Ezek a modellek egy egyszerű mérlegegyenlettel számítják a gyökérszóna nedvességtartalmát. A talajszelvényt három részre osztják fel: a gyökérszónára, a maximális gyökérmélységre és a kettő közötti rétegre (1. ábra). A modell a gyökérszónában egyenletes nedvességeloszlást feltételez. A számítási elv szempontjából a mérlegelvé modellek a legegyszerűbbek, ezért egyszerű adatokkal dolgoznak, és nem igényelnek jelentős számítógép-kapacitást. A számítástechnika fejlődésével azonban ez utóbbi szempont egyre kevésbé jelentős (Berg, 1999).

A CERES modell.

Az amerikai fejlesztésű CERES növénytermelési modell kidolgozása során a fő szempont egy olyan rendszer kiépítése volt, mely alkalmas a növény fejlődésének, nitrogén- és vízfelvételének becslésére, és az ezeket befolyásoló tényezők leírására. A CERES egy szelvényléptékű matematikai modell, mely a kapacitív modellek közé so-

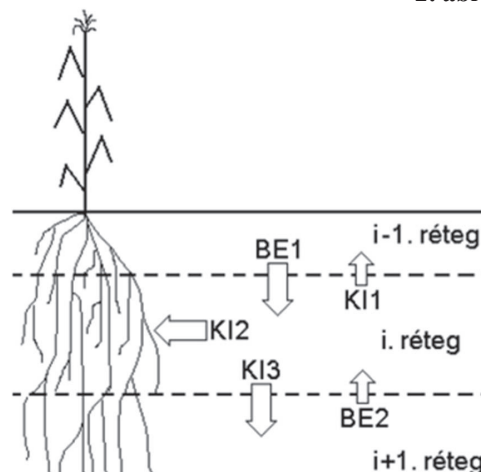
1. ábra



A mérlegelven működő nedvességforgalmi modellek sematikus működési elve

Forrás: Fodor, 2002

2. ábra



A kapacitív nedvességforgalmi modellek sematikus működési elve

Forrás: Fodor, 2002

rolható (2. ábra), és amely fizikai összefüggések alapján szimulálja a talaj tápanyagforgalmát (Fodor, 2002). A vízháztartást egyszerű mérlegelven számolja, a telítetlen zónában végbemenő vízmozgás fizikai hátterének leírására alkalmas *Richard's egyenletet* nem tartalmazza.

A SWAP modell.

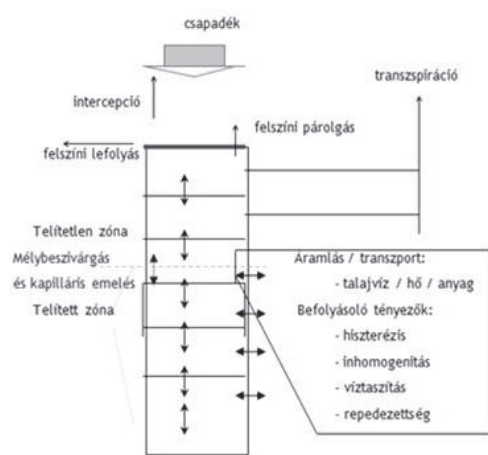
A SWAP (Soil Water Plant Atmosphere) modellt a *Wageningeni Agrártudományi Egyetem Vízgazdálkodási Tanszéke* és az *Alterra Green World Research* kutatóintézet együttműködésével fejlesztették ki. A 3. ábra azokat a hidrológiai folyamatokat mutatja be, amelyeket a modell figyelembe vesz (van Dam, 2000). A SWAP modell lehetőséget nyújt a telített zónában végbemenő vízmozgás számítására, továbbá a dréncsatornák hatásának és a telített, valamint a telítetlen zóna közötti kölcsönhatás vizsgálatára. Területi léptékű modellezés esetében a modellt talajfoltonként kell futtatni, esetleg egy területileg reprezentatív metszetet kell kiválasztani. Térben folytonosan változó talajtulajdonságok – tehát talajfizikai szempontból viszonylag homogén területen történő alkal-

mazása – esetében az azonos médiák elvén alapuló skálázási módszer alkalmazható a modelleredmények területi kiterjesztésére (van Dam, 2000).

A COUP modell.

A COUP modelles család két, igen részletesen kidolgozott kutatómodell ötvözetéből áll: a SOIL és a SOILN modellekből (Jansson – Karlberg, 2004). Ezt a kifejezetten kutatómodellt a *Svéd Agrártudományi Egyetemen* fejlesztették ki (Eckersten et al., 1996). A SOIL modell vízmozgást és hőforgalmat szimulál, valamint – a SWAP modellel eltérően – páramozgást is. A talajban végbemenő hőforgalom, a tél folyamán végbemenő folyamatok és a fagyhatás kidolgozása igen részletes. A SOIL modell egyik sajátossága az, hogy a modellparaméterek értékét (kivéve a talajfizikai paramétereket) az idő függvényeként is definiálni lehet. A SOILN modell (4. ábra), mely a talaj tápanyag- és szénforgalmát szimulálja, két fő részből áll: talaj- és növény-részmodellekből. A növény-részmodell több növény (szántóföldi, egyévi és évelő növények és erdő) növekedésének szimulálására alkalmas (Huszvai et al., 2005).

3. ábra



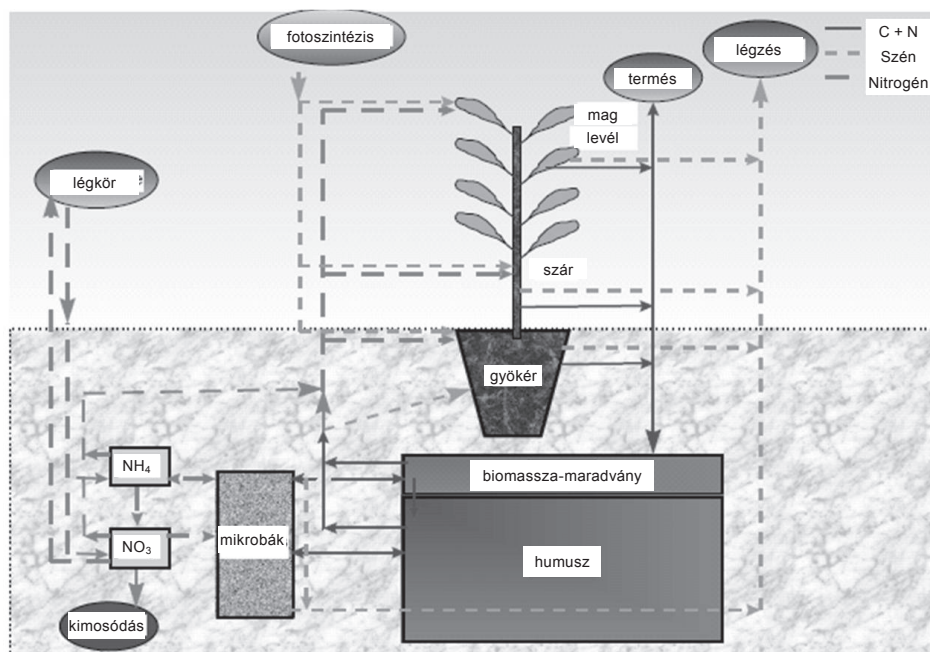
A SWAP modellbe beépített hidrológiai folyamatok

Forrás: van Dam, 2000

A GLOBAL modell.

A GLOBAL modellt a *Szlovák Tudományos Akadémia Hidrológiai Intézetében* fejlesztették ki a talaj–növény–léggör rendszerben végbemenő víz- és hőmozgás számítása céljából (Majercak – Novák, 1994). A GLOBAL modell alapvetően az evapotranszspiráció és a növényi vízfelvétel meghatározásában különbözik a SWAP modellel. A potenciális evapotranszspiráció (ETp) számítása a Novák által módosított *Penman-egyenleten* alapszik (Novák et al., 1998). A módosítás következtében az evapotranszspiráció tetszőleges párologtató felületről számítható. A tényleges növényi vízfelvétel számítása a Novák és munkatársai (1986) által javasolt módszerrel történik. A GLOBAL modell alapvetően a talaj–növény–léggör rendszerben végbemenő hidrológiai folyamatokat írja le (5. ábra).

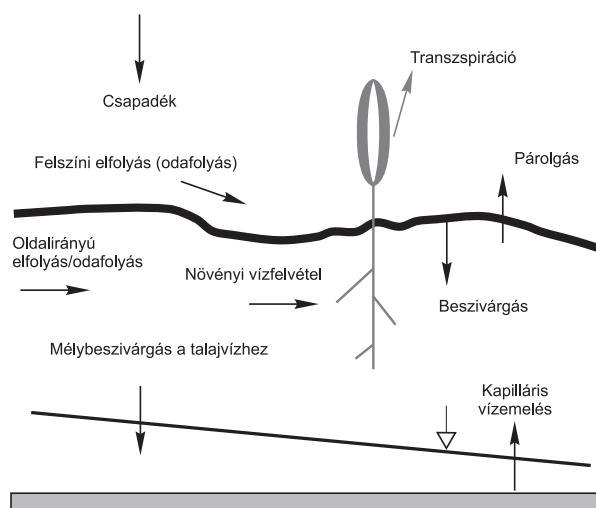
4. ábra



A COUP modellbe beépített szén-, nitrogén- és biomassza-fluxusok és tározók vázlatos, egydimenziós ábrázolása

Forrás: Eckersten et al., 1996

5. ábra



Hidrológiai folyamatok a GLOBAL modellben

Forrás: Stehlová – Stekauerová, 2006

A 4M modell.

A magyar fejlesztésű 4M modell (*Magyar Mezőgazdasági Modellezők Műhelyei; Fodor et al., 2002*) megalkotását az egyre nagyobb szükségessé, hogy a hazai alkalmazások feltételrendszere eltérjen a világban elérhető szimulációs programcsomagok input megfogalmazásaitól. Az egyik probléma a világszerte elterjedt modellekkel, hogy azok magukon hordozzák a kialakítási helyük sajátosságait, elsősorban a mérési módszerek tekintetében.

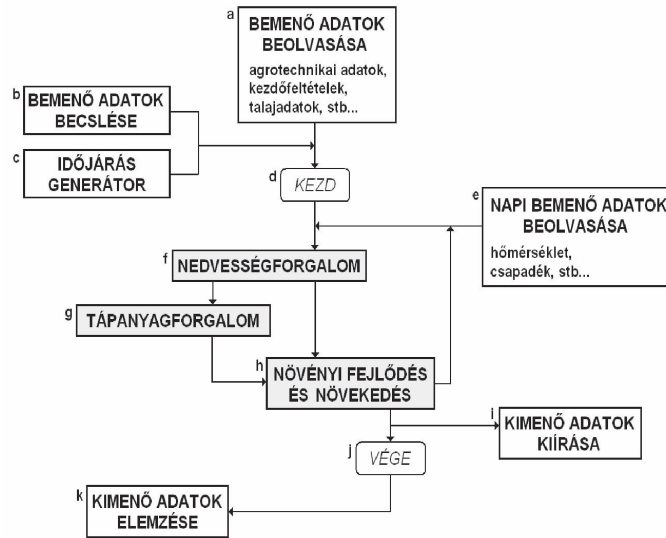
A 4M a CERES modell forráskódjára épülő napi léptékű, determinisztikus modell, amely működését a talaj–növény–légtér rendszer számszerű jellemzői határozzák meg (6. ábra). A modell a területen talajban történő vízmozgást számolja a *Richard's egyenlet* alapján. A 4M modell két nyelven, magyarul és angolul készült el, és nemzetközi szinten is bemutatásra került (*Fodor et al., 2002*).

A 4M modell tápelemforgalmi modulja korlátlan számú, tetszőleges vastagságú talajréteget képes kezelni. A modell által szimulált folyamatokat az 1. táblázatban foglaltuk össze.

A HYDRUS modell.

A HYDRUS modell – a korábban bemutatott SWAT, COUP és 4M modellekhez hasonlóan – a konduktív modellek közé sorolható és a *Richard's egyenletre* épül. A HYDRUS egy, a COUP modellhez hasonló részletes kutatómodell, azonban tér-

6. ábra



A 4M modell egyszerűsített folyamatábrája

Forrás: Fodor et al., 2002

1. táblázat

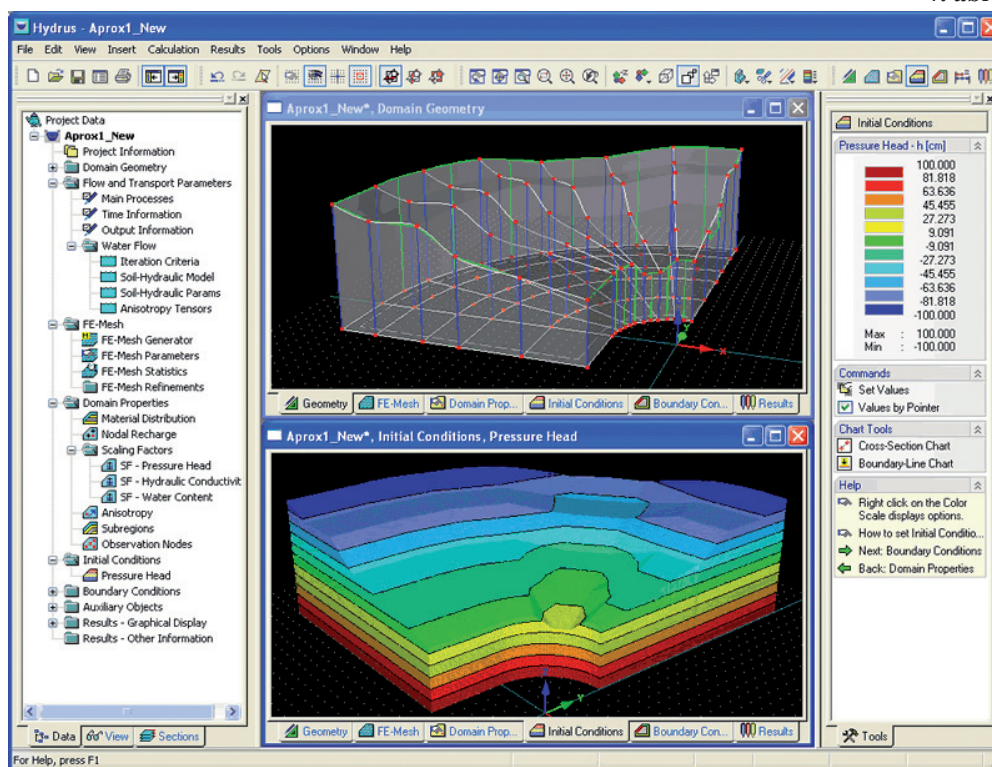
A 4M modell által szimulált folyamatok

Nedvességforgalom	Tápanyagforgalom	Növényi fejlődés és növekedés
Talajpárolgás	NO ₃ mozgása a talajban	Fenológia
Növényi párolgatatás	Mineralizáció	Asszimiláció
Felszíni vízfolyás	Immobilizáció	Asszimiláták elosztása
Víz talajba, illetve mélybe szivárgása	Nitrifikáció	Gyökér- és levélfelület-növekedés
	Denitrifikáció	Termés
	Növényi N-felvétel	

beli léptéke már átmenetet képez a szelvény- és a vízgyűjtő-szintű modellek között (7. ábra).

A HYDRUS modell 1, 2 és 3 dimenziós verzióban is elérhető. A térbeli kiterjeszthe-tőség mellett a modell egyéb erősségei közé tartozik, hogy nagyon sok folyamatot (mikrobiológia, szénforgalom) képes szimulálni, és hogy tartalmaz egy modult, melynek alkalmazásával inverz modellezést is lehet végezni. Ezáltal lehetőség nyílik a nehezen mérhető talajhidrológiai és egyéb paraméte-

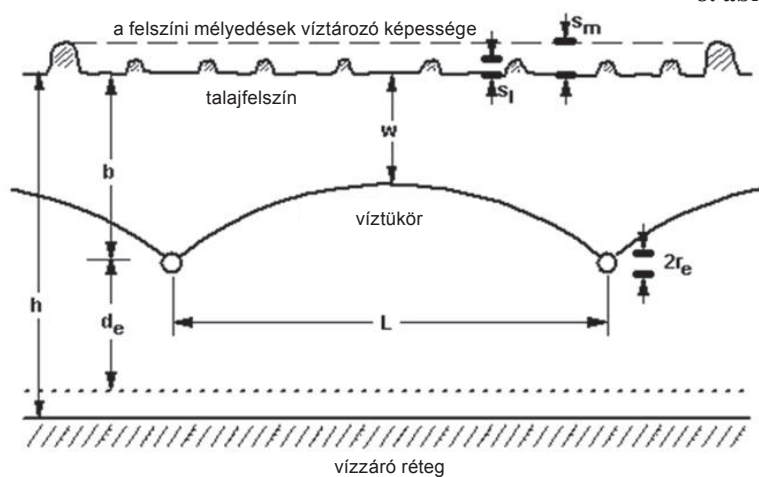
7. ábra



A HYDRUS modell felhasználói felülete

Forrás: Simunek et al., 1999

8. ábra



A DrainMod modell felépítése

Forrás: Skaggs, 1990

rek becslésére annak érdekében, hogy a modelledmények minél inkább megközelítsék a mért referencia adatok értékeit.

A modell alkalmazásának korlátja az, hogy egy viszonylag nehezebben elsajátítható, drága modellről van szó, mely egyelőre nem talált széles körű hazai felhasználásra.

A DrainMod modell.

A DrainMod modell egy egydimenziós, viszonylag egyszerű összefüggésekre épülő dinamikus modell (Skaggs, 1990). A modellt elsősorban a drénezett mezőgazdasági területek vízforgalmának elemzésére fejlesztették ki, de nem drénezett területekre is alkalmazható.

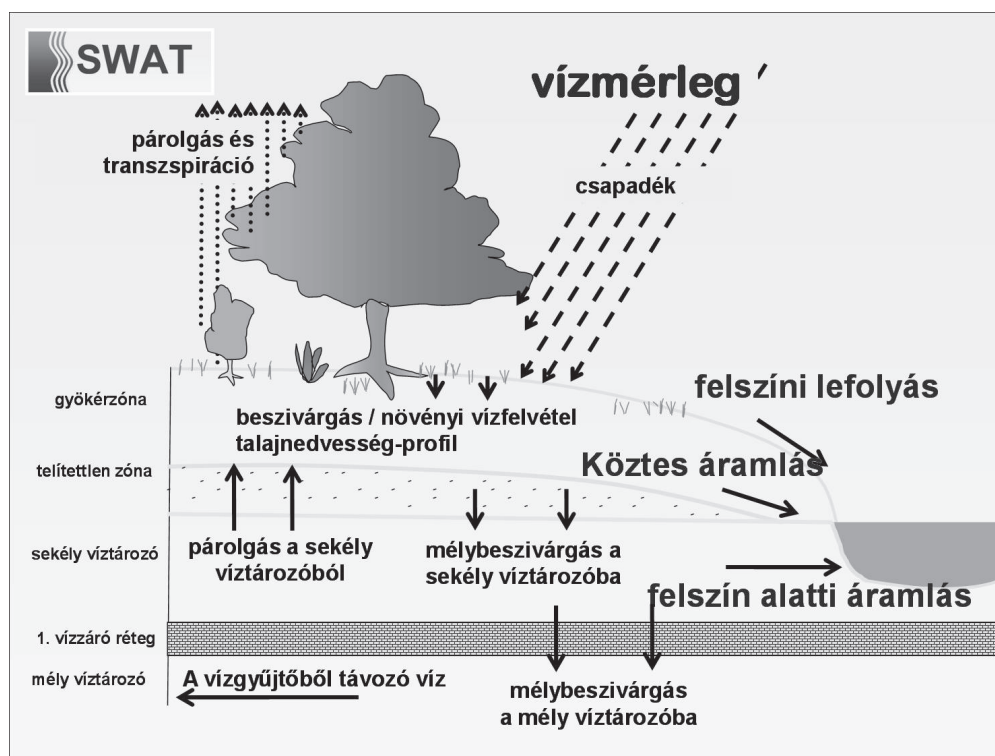
A modell szerkezeti felépítése a 8. ábrán látható.

A vízgyűjtő-léptékű modellek ismertetése

A SWAT modell.

A SWAT modellt a vízgyűjtő területén folytatott emberi tevékenység vízháztartásra és vízminőségre gyakorolt hatásainak számítása céljából fejlesztették az amerikai Mezőgazdasági Kutatási Szolgálat (USDA Agricultural Research Service) támogatásával (Santhi et al., 2005). A modell fizikai és empirikus összefüggésekre épül, és tartalmazza a legfontosabb folyamatok matematikai leírását. Fő gyengesége az, hogy a víz talajba történő beszivárgására és a felszíni lefolyás generálására a merőben empirikus elvekre épülő ún. „curve number” (szó szerint görbeszám) módszert használja (Santhi et al., 2005).

9. ábra



A SWAT modell vizes blokkjának a felépítése

Forrás: Santhi et al., 2005

A modell teljes mértékben térinformatikai környezetbe ágyazott, az ArcView GIS program alatt futtatható. Ebből következően kiterjedt adatbázist igényel a vizsgálni kívánt terület meteorológiai, domborzati, talaj- és területhasználati viszonyairól, valamint az emberi tevékenységek körülményeiről.

A SWAT modell három szinten kezeli a hidrológiai számításokat (1. a talajszelvényben végbemenő folyamatok, 2. víz- és anyagtranszport a különböző nem mederspecifikus áramlások mentén, 3. a mederben végbemenő transzport- és átalakulási folyamatok). Becslést ad a mérési pontban várható vízhozamokra, vízminőségre és a víz által szállított lebegtetett, illetve görgetett hordalék mennyiségére. Előnye, hogy az eredmények térben is értelmezhetőek, hátránya viszont

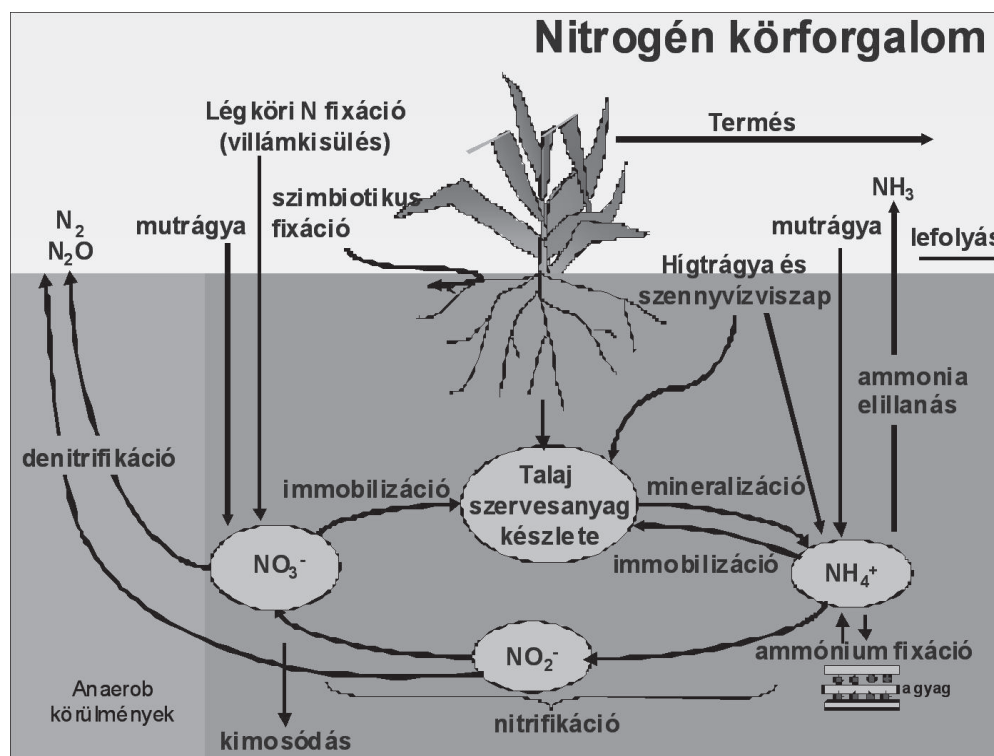
az, hogy a szelvényléptékű folyamatokat elnagyoltan kezeli. A SWAT modell által szimulált hidrológiai folyamatokat a 9. ábrán mutatjuk be.

A modell a nitrogén, foszfor és peszticidek körforgalmát is dinamikus módon kezeli. Példaként a nitrogén körfolyamatokat mutatjuk be a 10. ábrán.

Az INCA modellcsalád.

Az angliai Readingben kifejlesztett INCA modellcsalád (Wade et al., 2006; Whitehead et al., 2006; Wilby et al., 2006) több, fizikai összefüggésekre épülő dinamikus modellből áll, melyek a felszíni lefolyás, az eróziós talajvesztés, valamint a felszíni vizekbe kerülő nitrát és foszfor mennyiségét szimulálják. A modellek napi időjárási adatsorokkal dol-

10. ábra



A SWAT modell nitrogénblokkjának felépítése

Forrás: Santhi et al., 2005

goznak. Előnyük, hogy viszonylag egyszerű bemenő paramétereket használnak, és hogy ún. térben részlegesen kiterjesztett modellek, tehát képesek eltérő földhasználati módok (pl. erdő, gyeplő, szántó, gyümölcsös) és talajművelési rendszerek (pl. szántás, tárcsázás, direktvetés) hatásának jellemzésére. A hidrológiai folyamatokat a modell három külön blokkban (11. ábra) számolja (szelvény- vagy cella-léptékű blokk, részvízgyűjtő, vízgyűjtő).

Az HBV modell.

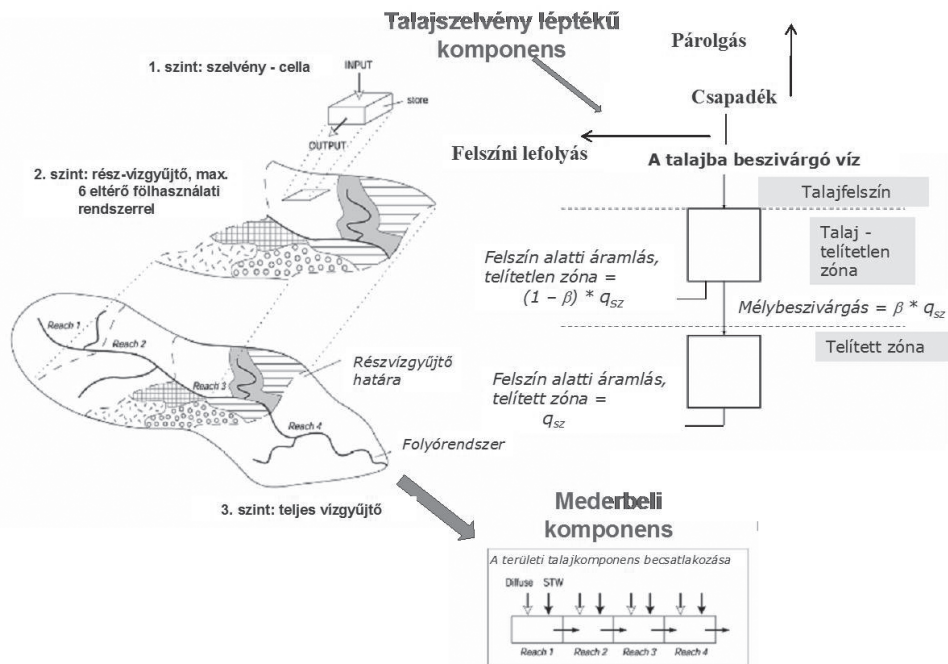
Az HBV modellnek számos változata létezik, az egydimenziós verziótól kezdve a térben kiterjesztett, 3D-s változatig. A modellt a Svéd Hidrometeorológiai Szolgálat gondozásában fejlesztették ki, és jelenleg számos skandináv országban használják a felszíni

lefolyás és az árvízi helyzetek operatív előrejelzésére (Sælthun, 2006).

A modell viszonylag egyszerű hidrológiai számításokra épül, melyek alapvetően négy blokk köré csoportosulnak: a hómodul, a talajnedvesség-modul, a dinamikus modul és a felszíni vízfolyások hálózatát kezelő modul (12. ábra). Az HBV modell alkalmazásának előnye, hogy mindössze 16 paramétert kell beállítani a kalibráció során. Ugyanakkor az egyszerűsége miatt a modell nem, vagy csak elnagyoltan veszi figyelembe a növénytermelés szempontjából fontos folyamatokat.

Az HBV modellnek számos változata létezik. Az utóbbi években létrehozták a nitrogén kimosódásának becslésére is alkalmas HBV-N (Pettersen et al., 2000), majd az eróziós és foszforfolyamatok beépítésével az HBV-NP

11. ábra

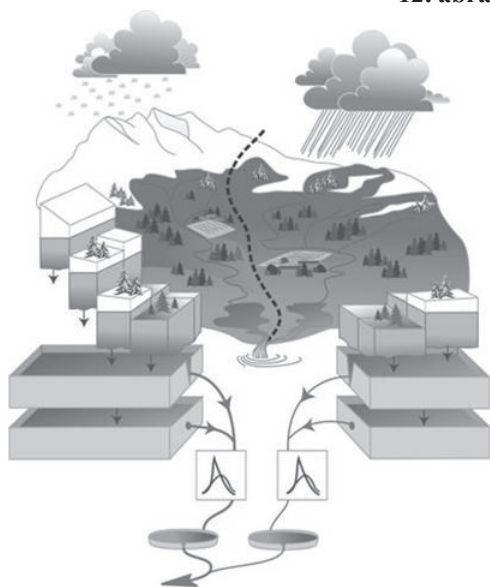


Az INCA modellek vízforgalmi blokkjának szerkezeti diagramja

Jelölések: Reach: ér vagy érszakasz; input: bemenet; output: kimenet; store: készletek, tározódás; diffuse: diffúz forrásból származó hozzáfolyás; STW: pontforrásból származó hozzáfolyás

Forrás: Wade et al., 2006

12. ábra



Az HBV modell térbeli felépítése

Forrás: Sælthun, 2006

(Arheimer *et al.*, 2005) modellt. Az elsődleges cél az volt, hogy minél pontosabb becslést tudjanak adni a vízgyűjtőkből a Balti-tengerbe érkező N- és P-terhelésre. E két utóbbi modellt csak az anyagforgalmi folyamatok szempontjából értékeltük, hiszen alapvetően az HBV modell hidrológiájára épülnek.

AZ EREDMÉNYEK

A különböző szelvény- és vízgyűjtő-léptékű modellek összehasonlítását a klímaváltozás hatásának előrejelzésére való alkalmasságuk szempontjából a 2-4. táblázatban foglaltuk össze. Az eltérő léptékű modelleket külön értékeltük, két különböző szempont szerint: a vízforgalmi, illetve az anyagforgalmi folyamatok szemszögéből. A modellértékelés végső pontszáma a táblázatok utolsó sorában látható.

Megállapítottuk, hogy az általános – nem egy adott feladathoz igazított – értékelés

alapján a talajszelvény-léptékű modellek közül a SWAP és a 4M modell a legalkalmasabb a talaj vízháztartásának előrejelzésére (2. táblázat) hazai feltételek között. A tápanyagforgalom tekintetében a HYDRUS modell alkalmazása javallott a talajszelvény- és a kisvízgyűjtő-szintű változások felmérésére (3. táblázat), mindazonáltal a felszíni vizek minőségéről ez a modell nem nyújt információt. A 4M modell várhatóan ugyancsak sikeresen alkalmazható, amennyiben kifejezetten a tápanyagforgalom és a növényi növekedés vizsgálata a cél.

A COUP modell elsősorban bonyolultsága és nagy adatigénye miatt kevésbé alkalmas hazai használatra, ugyanakkor kisparcellás tartamkísérletek részletes adatait felhasználva feltételezhetően jól parametrizálható. A GLOBAL és a DrainMod modell kevésbé rugalmas modellfejlesztés szempontjából. A HYDRUS fizikailag jól megalapozott, viszont használata költséges. A HYDRUS, a GLOBAL és a DrainMod modellekkel kapcsolatban elenyészően kevés a hazai tapasztalat. A CERES modell főleg a fizikai megalapozottság tekintetében gyengébb a többi vizsgált modellnél.

A vízgyűjtő-szintű modellek közül az INCA és a SWAT modellt találtuk a legalkalmasabbnak arra, hogy eltérő klíma- és földhasználati forgatókönyvek együttes hatását vizsgáljuk az erózió okozta talajvesztés, továbbá a tápanyag-kimosódás becslésére (4. táblázat). Az INCA fő előnyei az egyszerű használat, a nem túl nagy adatigény és a rugalmas, fejleszthető kód. Azonban azokban az esetekben, amikor a beavatkozási stratégiák finom (pl. tábla-) léptékben valósulnak meg, vagy ismernünk kell a vizsgált változók térbeli eloszlását, a SWAT modell szolgáltatja a legrészletesebb információt.

Az HBV modelles család alkalmazásának fő nehézsége az, hogy ezeket a modelleket eddig elsősorban skandináv feltételekre adaptálták. A modellek leírásából kitűnik, hogy sík területekre rosszabb eredményeket kaptak a felhasználók.

2. táblázat

A talajszelvény-léptékű matematikai modellek értékelése a vízforgalom szempontjából

SWAP	COUP	GLOBAL	4M	HYDRUS	CERES	DrainMod	WOFOST
1. Mennyiben ad választ a modell kimenetele a feltett kérdésekre?							
5	5	5	5	5	4	5	3
2. Összhangban van-e a modell tér- és időbeli felbontása a feladat idő- és térléptékével?							
5	5	4	4	5	4	5	2
3. Mennyi tapasztalat áll rendelkezésre a modell alkalmazásáról hazai mintaterületekre?							
5	4	3	5	3	5	2	3
4. Arányban van-e a modell bonyolultsága a feladat összetettségével?							
5	3	5	5	5	4	4	3
5. Egyensúlyban van-e a modell adatigénye a rendelkezésre álló adatmennyiséggel?							
5	3	5	5	4	5	5	5
6. Fizikailag megalapozottak-e a modellszámítások?							
5	5	5	5	5	3	5	3
7. Rugalmas-e a modell adaptáció és fejlesztés szempontjából?							
4	3	3	5	4	5	3	2
8. Mennyire költséges a modell használata?							
5	4	5	5	3	5	5	5
SWAP	COUP	GLOBAL	4M	HYDRUS	CERES	DrainMod	WOFOST
39	32	35	39	34	35	34	26

3. táblázat

A talajszelvény-léptékű matematikai modellek értékelése a tápanyagforgalom szempontjából

SWAP	COUP	GLOBAL	4M	HYDRUS	CERES	DrainMod	WOFOST
1. Mennyiben ad választ a modell kimenetele a feltett kérdésekre?							
3	5	2	4	5	4	2	
2. Összhangban van-e a modell tér- és időbeli felbontása a feladat idő- és térléptékével?							
5	5	4	4	5	4	5	
3. Mennyi tapasztalat áll rendelkezésre a modell alkalmazásáról hazai mintaterületekre?							
3	4	2	5	3	5	2	
4. Arányban van-e a modell bonyolultsága a feladat összetettségével?							
5	3	5	5	5	4	4	
5. Egyensúlyban van-e a modell adatigénye a rendelkezésre álló adatmennyiséggel?							
5	2	5	4	5	4	5	
6. Fizikailag megalapozottak-e a modellszámítások?							
4	5	3	4	5	4	3	
7. Rugalmas-e a modell adaptáció és fejlesztés szempontjából?							
4	3	3	5	5	5	3	
8. Mennyire költséges a modell használata?							
5	4	5	5	4	5	5	
SWAP	COUP	GLOBAL	4M	HYDRUS	CERES	DrainMod	WOFOST
34	31	29	36	37	35	29	–

4. táblázat

A vízgyűjtő-léptékű matematikai modellek értékelése a vízforgalom és a tápanyagforgalom szempontjából

Vízgyűjtő-léptékű matematikai modellek értékelése							
vízforgalom			anyagforgalom				
SWAT	INCA	HBV	SWAT	INCA	HBV	HBV-N	HBV-NP
1. Mennyiben ad választ a modell kimenetele a feltett kérdésekre?							
5	5	4	5	5	3	4	5
2. Összhangban van-e a modell tér- és időbeli felbontása a feladat idő- és térléptékével?							
5	5	4	5	4	3	4	4
3. Mennyi tapasztalat áll rendelkezésre a modell alkalmazásáról hazai mintaterületekre?							
3	2	1	3	2	1	0	0
4. Arányban van-e a modell bonyolultsága a feladat összetettségével?							
4	5	4	4	5	4	4	4
5. Egyensúlyban van-e a modell adatigénye a rendelkezésre álló adatmennyiséggel?							
3	5	4	3	5	4	4	4
6. Fizikailag megalapozottak-e a modellszámítások?							
4	4	4	4	4	4	4	4
7. Rugalmas-e a modell adaptáció és fejlesztés szempontjából?							
4	5	3	4	5	3	3	3
8. Mennyire költséges a modell használata?							
4	5	3	4	5	3	2	2
vízforgalom			anyagforgalom				
SWAT	INCA	HBV	SWAT	INCA	HBV	HBV-N	HBV-NP
32	36	27	32	35	25	25	26

KÖVETKEZTETÉSEK

A prognosztizált klímaváltozás következményeire történő felkészülés csak akkor lehet kellőképpen átgondolt és megalapozott, ha tudjuk, hogy hol, mikor és mire kell felkészülni. Magyarországon a természeti viszonyok nagy változatossága eleve kizárja a talajhasználat túlzott uniformizálásának lehetőségét, s a megfelelő beavatkozási stratégiarendszert a termőhely-specifikus rendszerek együttesében kell keresni és lehet megtalálni (Várallyay, 2006).

A klímaváltozás kérdéskörébe tartozó, a beavatkozási stratégiák és döntéshozó mechanizmusok alapjául szolgáló ismeretek hiányosak, és nagy bizonytalansággal terheltek. A matematikai modellek fizikailag megalapozott háttérrel biztosítanak a rendelkezésre álló ismeretanyag bővítéséhez és a szükséges döntések meghozatalához.

Tanulmányunkban áttekintettük azokat a pont- és vízgyűjtő-léptékű dinamikus matematikai modelleket, amelyek meglátásunk és a nemzetközi szakmai tapasztalatok szerint alkalmasak lehetnek a klímaváltozás hatásainak előrejelzésére. A javasolt munkamodell kiválasztása tudományosan megalapozott módszertan szerint történt.

Megállapítottuk, hogy a szelvényléptékű modellek közül a talaj vízháztartásának hazai körülmények között történő számítására a SWAT és a 4M modell, a tápanyagforgalom talajszelvény- és kisvízgyűjtő-szintű értékelésére értelemszerűen a 4M és a HYDRUS modell alkalmazása bizonyult a legígéretesebbnek.

A vízgyűjtő-szintű modellek közül az INCA és a SWAT modell bizonyult a legalkalmasabbnak arra, hogy eltérő klíma- és földhasználati forgatókönyvek együttes hatását vizsgáljuk az erózió okozta talajvesz-

teség, továbbá a tápanyag-kimosódás becslésére.

Az INCA modelleszaládot számos kutatás során alkalmazták sikeresen igen tág földrajzi viszonyokra (Anglia, Argentína, Brazília, Dánia, Finnország, Hollandia, Norvégia, Románia, Spanyolország Svédország stb.), többek között a klímaváltozás várható hatásainak jellemzésére is, ezért feltételezhető, hogy ezek a modellek hazai viszonylatban is megfelelő alkalmazásra találhatnak. A modellek hazai vízgyűjtőkre történő adaptációja lehetővé tenné azt, hogy sztochasztikus elemek bevonásával becsüljük a földhasz-

nálati, illetve talajművelési rendszerekben bekövetkező változás és a klímaváltozás együttes hatását az eróziós folyamatokra, valamint a tápanyagok talajból történő kimosódására.

Fontos megemlíteni azonban, hogy egy ismert probléma megoldása során a modellek elméleti síkon történő összehasonlítása nem helyettesíti a megfelelő modell kiválasztási folyamatának szükségességét, mert a Benchmark kritériumrendszer szerinti pontozást minden újabb (a mintaterületre, a rendelkezésre álló adatokra stb. vonatkozó) információ befolyásolhatja.

FORRÁSMUNKÁK JEGYZÉKE

- (1) ARHEIMER, B. – LÖWGREN, M. – PERS, B.C. – ROSBERG, J. (2005): Integrated Catchment Modeling for Nutrient Reduction: Scenarios Showing Impacts, Potential, and Cost of Measures. *AMBIO: A Journal of the Human Environment* 34(7): 513–520. pp.
- (2) ARNOLD, J.G. – WILLIAMS, J.R. – SRINIVASAN, R. – NEITSCH, J.G. – KINIRY, J.R. (2002): Soil and Water Assessment Tool, User's Manual.
- (3) BERG, P. (1999): Long-term simulation of water movement in soils using mass-conserving procedures. *Advances in Water Resources* 22: 419–430. pp.
- (4) BUTTERFIELD, D. – WADE, A.J. – WHITEHEAD, P.G. (2008): INCA_N v1.9 User Guide. University of Reading (5) ECKERSTEN, H. – JANSSON, P.E. – JOHNSSON, H. (1996): SOILN model user's guide. Version 9.1. Dep. of Soil Sci., Swedish Univ. of Agric. Sci., Uppsala, Sweden
- (6) FARKAS Cs. (2002): A talajnedvességforgalom modellezése a talajfizikai tulajdonságok területi változatosságának és szezonális dinamikájának tükrében. Ph.D. dolgozat, Alkalmazott és Környezetföldtan Tanszék, ELTE TTK, Budapest, 150 p.
- (7) FODOR N. (2002): A nedvességforgalom modellezése növénytermesztési modellekben. Ph.D. értekezés. Debreceni Egyetem
- (8) FODOR N. – MÁTHÉNÉ-GÁSPÁR G. – POKOVI K. – KOVÁCS G.J. (2002): 4M – software package for modelling cropping systems. *European J. of Agr.* 18: 389–393. pp.
- (9) HUZSVAI L. – RAJKAI K. – SZÁSZ G. (2005): Az agroökológia modellezéstechnikája. Debreceni Egyetem, AC, <http://www.tankonyvtar.hu/mezogazdasag/agrookologia-080904-87>, Debrecen
- (10) JANSSON, P-E. – KARLBERG, L. (2004): Coup Model Manual. www.lwr.kth.se/vara%20datorprogram/Coup-Model.
- (11) MAJERCAK, J. – NOVAK, V. (1994): GLOBAL, one-dimensional variable saturated flow model, including root water uptake, evapotranspiration structure, corn yield, interception of precipitation's and winter regime calculation. Research Report, Institute of Hydrology, Slovak Academy of Sciences, Bratislava: 75.
- (12) NOVAK, V. – SUTOR, J. – MAJERCAK, J. – ŠIMUNEK, J. – VAN GENUCHTEN, M. TH. (1998): Modeling of Water and Solute Movement in the Unsaturated Zone of the Žitny Ostrov Region, South Slovakia. IH SAS, Bratislava, Slovakia: 73.
- (13) PETTERSSON, A. – BRANDT, M. – LINDSTRÖM, G. (2000): Application of the HBV-N model to the Baltic Sea drainage basin. *Vatten* 56:7–13. pp.
- (14) SÆLTHUN, N.R. (2006): The „Nordic” HBV model. NVE publications No. 07.
- (15) SALORANTA, T.M. ET AL. (2003): Benchmark criteria: a tool for selecting appropriate models in field of water management. *Environmental Management* 32:322–333. pp.
- (16) SANTHI, C. – SRINIVASAN, R. – ARNOLD, J.G. – WILLIAMS, J.R. (2005): A modeling approach to evaluate the impacts of water quality management

plans implemented in a watershed in Texas. *Environmental Modelling & Software*. 21 (2006): 1141-1157. pp. (17) SILGRAM, M. – SCHOUMANS, O.F. (eds.; 2004): *Modelling approaches: Model parameterisation, calibration and performance assessment methods in the EUROHARP project*. EUROHARP report 8-2004, NIVA report SNO 4740-2003, ISBN: 82-577-4491-3, Oslo, Norway, 18 pp. (18) SIMUNEK, J. – SEJNA, M. – VAN GENUCHTEN, M. TH. (1999): *The Hydrus-2D software package for simulating two-dimensional movement of water, heat, and multiple solutes in variably saturated media*. Version 2.0, IGWMC – TPS – 53, International Ground Water Modeling Center, Colorado School of Mines, Golden, Colorado, 251 p. (19) SKAGGS, R.W. (1990): *DRAINMOD User's Manual*. North Carolina State University, Raleigh. http://www.bae.ncsu.edu/soil_water/drainmod/ (20) STEHLOVÁ, K. – STEKAUEROVÁ, V. (2006): Impact of Extreme Meteorological Phenomena on Soil Water Storage of Slovakia Typical Lowland Site *Agriculturae Conspectus Scientificus*, 71: 95-102. pp. (21) SZONDI Z. (2010): *A vízáramlás számítógépes modellezése a talajban, a Hydrus-1D modell segítségével*. Szakdolgozat. Budapesti Corvinus Egyetem, Budapest (22) VAN DAM, J. (2000): *Field-scale water flow and solute transport*. Ph.D. thesis, Wageningen University, The Netherlands, 167 p. (23) VAN WAVEREN, R.H. – GROOT, S. – SCHOLTEN, H. – VAN GEER, F.C. – WÖSTEN, J.H.M. – KOEZE, R.D. – NOORT, J.J. (2000): *Good Modeling Practice Handbook*. STOWA Report 99-05, Utrecht, RWS-RIZA, Lelystad, the Netherlands (24) WADE, A.J. (2006): *Monitoring and modelling the impacts of global change on European freshwater ecosystems*. *Science of the Total Environment* 365: 3-14. pp. (25) WADE, A. J. – BUTTERFIELD, D. – WHITEHEAD, P. G. (2006): Towards an improved understanding of the nitrate dynamics in lowland, permeable river-systems: applications of INCA-N. *Journal of Hydrology* 330: 185-203. pp. (26) WHITEHEAD, P. G. – WILBY, R. L. – BUTTERFIELD, D. – WADE, A. J. (2006): Impacts of climate change on nitrogen in a lowland Chalk stream: an appraisal of adaptation strategies. *Science of the Total Environment* 365: 260-273. pp. (27) WILBY, R.L. – WHITEHEAD, P.G. – WADE, A. – BUTTERFIELD, D. – DAVIS, R.J. – WATTS, G. (2006): Integrated modelling of climate change impacts on water resources and quality in a lowland catchment: River Kennet, UK *Journal of Hydrology* 330: 204-220. pp.

ERÓZIÓBECSLÉS VÁLTOZÓ KLIMATIKUS VISZONYOK KÖZÖTT

SZALAI ZOLTÁN – BALOGH JÁNOS – JAKAB GERGELY

Kulcsszavak: klímaváltozás, talajerózió-modellezés, felszínborítás, MEDRUSH, WEPP.

ÖSSZEFOGLALÓ MEGÁLLAPÍTÁSOK, KÖVETKEZTETÉSEK, JAVASLATOK

A klímaváltozás mind rövid, mind hosszú távon befolyásolja a talaj fizikai és kémiai paramétereit, valamint ezen keresztül a talajpusztulást is. A feltételezhetően egyre gyakoribbá váló extrém csapadékesemények rövid távú hatásait a WEPP modellel szimuláltuk. Az éghajlati viszonyok megváltozásának hosszú távú modellezésére a MEDRUSH modellt alkalmaztuk. A modellezett éghajlat legfontosabb ismérvei az időjárási szélsőségek számának emelkedése és az éves csapadékmennyiség a mainál sokkal rendszertelenebb eloszlása. Ezen hatások eredőjeként hosszú távon valószínűsítettük a jelenlegi felszínborítás (szántóföld, legelő) megváltozását. Megállapítható, hogy a vizsgált lejtőkön egy nagyon heves csapadékesemény önmagában nem okozna jelentős talajpusztulást a vizsgált szelvények mentén. Az időjárási szélsőségek gyakoribbá válása azonban a csapadék csökkenése mellett is intenzívebb talajpusztulást idézhet elő. Esetünkben a lepusztulás mértéke a modellszámítások szerint 10-16%-kal növekedhet a pillanatnyi értékekhez képest, miközben a barázdás erózió részaránya is ugrásszerűen megemelkedik. Rövid távon a szántóföldi művelés alatt álló lejtők – különösen a meredek térszíneken – jelentős pusztulása várható. E pusztulás kártétele várhatóan elsősorban az elhordott talaj lerakódásában (a lejtőalji növények eltemetésével, a tározók és élővizek feltöltődésével) mutatkozik meg és csak másodlagosan a termelt növények által elérhető talaj- és tápanyagmennyiség csökkenésében. Hosszabb távon a meredekebb térszíneken a talajpusztulás ütemének erősödésére lehet számítani. Ennek a folyamatnak a spontán visszaerdősülés is hatékony védőeszköze lehet. A legkritikusabb térszíneken klímazonális jellegű erdő telepítése is hatékony talajvédelmi eszköz lehet, bár a modell e társulások szempontjából kedvezőtlen környezeti feltételeket prognosztizál. A rendszertelenül hulló csapadék a növényzet fejlődésére általánosságban gátlóan hat, így ezen erdők talajmegkötő és víz-visszatartó képessége várhatóan csekélyebb lesz a jelen értékekhez képest.

Az alkalmazott módszer területei kiterjesztésével lehetőség nyílik nagyobb területek talajpusztulásának becslésére eltérő klimatikus viszonyok esetén. Alkalmazásával számszerűen összehasonlíthatóvá válnak az egyes területhasználati és művelésmódok rövid és hosszú távú talajvédelmi hatásai is.

BEVEZETÉS

Magyarország természeti erőforrásai között meghatározó a talaj. Védelme, megújulásának biztosítása mind gazdasági, mind

természeti és társadalmi szempontból elengedhetetlen. Különösen igaz ez olyan esetekben, amikor a talaj a nagyberuházások hosszú távú működését biztosítja (Schweitzer *et al.*, 2003, 2008). A talajt leginkább fe-

nyezető veszélyforrások között első helyen áll az erózió. A talajeróziót kiváltó tényezők között legfontosabb a csapadék, s ha ez változik, akkor jelentős eltérések várhatók a talajpusztulás folyamatában is (Kertész, 2001; Kertész et al., 1999). E változások előrejelzése meghatározó a hatékony védekezés tervezésében.

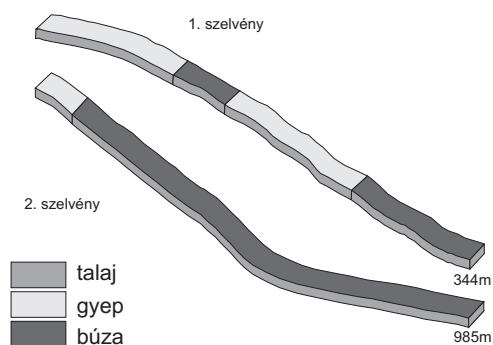
A közelmúltban falvakat elárasztó sárfolyamok arra figyelmeztetnek, hogy a talaj és a települések együttes védelme megköveteli a változó időjáráshoz való alkalmazkodást, ami a területhasználat és a táj átalakulásával is járhat (Centeri – Császár, 2003). A megváltozó éghajlat hatásainak számszerűsítésére a modellezés nyújt lehetőséget (Kitka et al., 2008; Centeri et al., 2009).

Az MTA FKI által üzemeltetett parcellás eróziómérő állomások eredményeit alapul véve (Schweitzer et al., 2003, 2008) lehetőség nyílik egyes feltételezett klímaesemények hatásainak modellezésére. Az Intézetben végzett modellkísérletek eredményeiből az alábbiakban mutatunk be eredményeket.

AZ ANYAG ÉS MÓDSZER

A talajpusztulás prognosztizálására a Kosdi-dombság változatos felszínű területén, egy völgyközi hát két oldalán jelöltük

1. ábra



A modellezett lejtők hossz-szelvényei

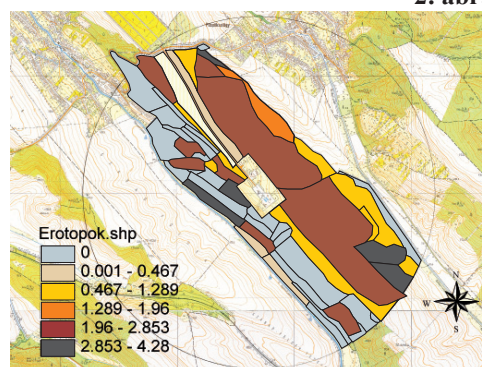
ki a mintaterületet (1. ábra). E háton található a Püspökszilágyi RHFT, melynek erózió általi fenyegetettségét 2 db mintaszelvény alapján vizsgáltuk. Az 1. szelvény a D-i oldal meredekebb lejtésviszonyait reprezentálja. A területre jellemző talaj a földes kopár (1. táblázat). Az 1. szelvény esetében a lejtőt a valóságnak megfelelően négy eltérő vegetációval borított szakaszra bontottuk, vagyis a lejtőn egymást váltja a gyepterület és az őszi búzával vetett szántóföld.

A 2. kereszt-szelvény a hátról indulva az É-i oldal erózióbázisáig tart (1. ábra). E lejtőn a legfelső szakaszt kivéve szántó található, amelyen a csapadék-szenáriók időpontjában szintén őszi búza kultúrát szimuláltunk. A lejtés ezen az oldalon jelentősen enyhébb, mint az 1. szelvényénél. A talaj itt csernozjom barna erdőtalaj (1. táblázat).

A hosszú távú modellezéskor nemcsak a jelenlegi szántóföldi földhasználatot, hanem a talajvédelem szempontjából előnyösebb erdő (telepítés), illetve a spontán visszaerdősülés korai szukcessziós fázisát képviselő cserjés hatásait is vizsgáltuk.

Az USDA-WEPP (Nearing et al., 1989) modell egy már bevált erózióbecslő eljárás alapján prognosztizálja a talajpusztulást, amely a sztochasztikus időjárási adatok előállításán, a beszivárgási elméleten, hidrológiai, talajfizikai, növénytani és hidraulikai

2. ábra



A telephely közvetlen környezetének erózióvesélyeztetettségi térképe az USLE modell alapján ($t\ ha^{-1}\ év^{-1}$)

törvényszerűségeken és az eróziós mechanizmusok ismeretén alapszik.

Legjelentősebb előnye, hogy képes a talajvesztés térbeli és időbeli eloszlásának becslésére (a nettó talajvesztés a teljes lejtőszakaszon, illetve a lejtőprofil minden egyes pontján napi, havi, éves átlagban becsülhető). A modell további kedvező tulajdonsága, hogy folyamat alapú jellegéből adódóan számos olyan körülményhez extrapolálható, amikor gyakorlati vagy gazdasági okokból a terepi mérés nem megvalósítható. A WEPP modellt használtuk feltételezett, nagyintenzitású, extrém egyedi csapadékesemények talajpusztításának modellezésére. A feltételezett csapadékokat a 2. táblázat mutatja be.

A MEDRUSH modellt a londoni *Kings College* és a *University of Leeds* kutatógár-

dája fejlesztette ki (*Kirkby, 1999*). A modell időjárási, talajfizikai, hidrológiai, topográfiai és növényzeti paraméterekkel dolgozik, ezeken keresztül mérsékelt égövi területek dombsági vízgyűjtőinek vizsgálatára alkalmas. A topográfiai adatok forrását jelen futtatás esetén a mintaterület környezetének EOV vetületű GEOTIFF kódolású digitális térképe jelentette.

A MEDRUSH modell segítségével 50 éves időtávra prognosztizáltuk a talajpusztulást, különböző klímaszcenáriókat feltételezve (3. táblázat).

Egyes lejtőszelvényeken túl nagy kiterjedésű területek talajpusztulását az USLE egyenleten alapuló erótop módszerrel (*Kertész – Richter, 1997*) modelleztük.

1. táblázat

A modellezett lejtők talajszelvényeinek legfontosabb adatai

Mélység cm	CaCO ₃ %	Humusz %	pH H ₂ O	Agyag %	Iszap %	Homok %
Csernozjom barna erdőtalaj						
0–25	6,5	2,47	7,50	25,5	54,3	20,2
25–30	5,6	2,58	7,60	31,0	51,6	17,4
30–50	3,5	2,58	7,70	30,5	57,0	12,5
50–70	7,4	2,90	7,80	26,6	59,6	13,8
70–90	18,6	0,97	8,00	22,3	53,5	24,2
90–120	18,6	0,43	7,90	23,6	53,4	23,0
Földes kopár						
0–25	14,7	1,62	7,80	31,1	52,1	16,8
25–65	16,0	0,86	8,00	29,5	50,7	19,8
65–120	11,3	0,65	8,10	31,8	49,1	19,1

2. táblázat

A WEPP által szimulált csapadékesemények

	„A” csapadék	„B” csapadék
Időpont	szeptember 9.	május 4.
Mennyiség (mm)	160	60
Időtartam (óra)	2,5	1,5
Max. intenzitás (mm/h)	100	60
Max. intenzitás ideje (min)	120	66

3. táblázat

A MEDRUSH által feltételezett klímaváltozás értékei

(PET= potenciális evapotranspiráció, SR=beeső sugárzás)

Hónapok	Jelen csapadék (mm/hó)	Csapadék I. (mm/hó)	Csapadék II. (mm/hó)	PET	SR (W m ⁻²)
Január	31,6	35,6	32,8	48	88
Február	34,6	29,7	46,9	89	157
Március	32,0	28,2	52,0	166	260
Április	65,1	44,1	98,4	268	391
Május	71,3	68,3	105,4	383	499
Június	63,1	57,1	98,1	421	518
Július	37,5	15,1	41,7	390	465
Augusztus	42,3	18,3	67,0	350	419
Szeptember	62,4	51,2	81,8	243	309
Október	68,2	55,1	96,0	154	218
November	31,2	22,4	41,2	53	87
December	32,1	23,6	65,7	38	67
Összesen	571,4	448,7	827,0		

4. táblázat

A WEPP modell által számított főbb talajpusztulás-értékek

	1. szelvény		2. szelvény	
	„A” csapadék	„B” csapadék	„A” csapadék	„B” csapadék
Lefolyás (mm)	144	47	144	47
Átl. talajveszt. (kg m ⁻²)	5,2	1,8	3,0	0,5
Max. talajveszt. (kg m ⁻²)	21,8	8,1	8,1	2,4
Távozó talaj (kg m ⁻¹)	1793	630	1547	356

AZ EREDMÉNYEK

Mindkét egyedi csapadék-szenárió alapján történt szimuláció esetében szembeötlő a szántott felszín nagyobb erózióveszélyeztetettsége. A gyepterítés – ez esetben is – lényegesen lecsökkenti a talajpusztulás mértékét, ezért annak kialakítása a vizsgált terület erózióveszélyeztetettségének szempontjából feltétlenül javasolt az összes lejtőn.

Az „A” csapadék esetében a szélsőségesen nagy mennyiségű és intenzitású csapadékot szimuláltuk. Az „A” csapadék intenzitásmaximuma az eső vége felé következik be, amikor a talaj már telített állapotban van, így a talajszemcsék elragadásához lényegesen kisebb energiára van szükség. Ez magasabb ta-

lajveszteség-értékekhez vezet. Látható, hogy a modell szerint a legnagyobb talajpusztulás a DNy-i kitettséű domboldalon, a lejtő alsó harmadában, a szántóföldön várható. E területen 10–20 cm közötti talajveszteség is elképzelhető. Tehát az is megállapítható, hogy a szántóföldi művelés sem egyformán veszélyes talajpusztulási szempontból a lejtő mentén. A lejtő felső harmadán található szántó komoly talajveszteséget szenved ugyan a szimulált csapadékesemény hatására, mégis az alsó harmadban található szántó ezt az értéket jóval meghaladja. Az arányok teljes megtartásával ugyanez a folyamat játszódik le a „B” csapadékesemény szimulációjakor, azonban ez esetben az abszolút talajveszteség-értékek jóval kisebbek (4. táblázat).

Az ÉK-i kitettségű lejtőszelvény mereksége sokkal kisebb, ezért itt a szimulált csapadékesemények is jóval kisebb talajpusztulás-értékeket mutatnak, annak ellenére, hogy a lejtő jelentős részét szántóföld foglalja el. Az egyes csapadékesemények közötti viszonylagos eltérések hasonlóak a fent leírtakhoz. A felszíni lefolyás mértékét számos tényező befolyásolja. Ezek között a (csapadékon túl) vegetáció, a talaj, a relief, valamint ezek erdőjeként a beszivárgás és az evapotranspiráció szerepel a MEDRUSH modellben (Tóth *et al.*, 2001). A modell a megemelkedő csapadék arányában nagyobb lefolyást számol a cserjések és az erdők esetében, mint a szántóknál. A megnövekedő csapadék csak a szántók esetében eredményez különböző lefolyást a két lejtő között. A cserjés és az erdő esetében ez a különbség eltűnik. A várható lefolyás a 450 mm-es szcenáriónál is magasabb lesz, mint a jelenlegi. A megemelkedő lefolyás a modell szerint a lecsökkenő növényzeti borításnak köszönhető. A beszivárgás éves mennyisége a szántókon a legmagasabb, míg a cserjéseknél ennek alig több mint harmada, erdők esetében pedig csak 5-8%-a. A csökkenő csapadék a várakozásoknak megfelelően csökkenő beszivárgást is eredményez. A csökkenő csapadékmennyiség a lejtők közötti különbséget felnagyította, míg a növekvő csapadékmennyiség a különbségeket csökkentette.

Az összes elhordott talajmennyiség cserjés és erdő esetében jelentősen különbözik a szántón várhatótól. 50 esztendő alatt a cserjésekben alig több mint 1 mm, erdőben még ennél is kevesebb talajpusztulás várható. A csapadék csökkenésével és az intenzitás növekedésével a talajpusztulás a cserjésekben kétszeresére nő, az erdőkben azonban a különbség jelentéktelen marad. Az éves csapadékmennyiség növekedése – a vegetáció hatására – a jelenlegihez képest nem idéz elő változást a talajpusztulásban. Az időjárási szélsőségek gyakoribbá válása a csapadék csökkenése mellett is (3. táblázat, I. csapadék) intenzívebb talajpusztulást idézhet elő. Ez esetben a lepusztulás növekedésének mértéke a modellszámítások szerint elérheti a 10-16%-ot is, a pillanatnyi helyzethez képest, miközben a barázdás erózió részaránya is ugrásszerűen megemelkedik.

Az erótopokon belüli talajpusztulásokról jelen klíma esetén a 2. ábra tájékoztat. Látható, hogy a legmagasabb értékkel szereplő erótop sem haladja meg a $4,3 \text{ t ha}^{-1} \text{ év}^{-1}$ értéket. Azaz e módszer szerint a vizsgált terület egésze a tolerálható talajveszteség kategóriájába (Centeri – Pataki, 2003) esik, még abban az esetben is, ha a jelenlegi felszín biztonságát, állékonyságát hosszú távra szeretnénk garantálni. Ez alól csak a megváltozó klíma hatására bekövetkező extrém időjárási körülmények jelenthetnek kivételt.

FORRÁSMUNKÁK JEGYZÉKE

- (1) CENTERI Cs. – CSÁSZÁR A. (2003): A talajpusztulás hatása a tájalakulásra a Tihanyi-félszigeten. Tájökológiai Lapok, 1(1): 81-85. pp. (2) CENTERI Cs. – PATAKI R. (2003): A talajerozálhatósági értékek meghatározásának fontossága a talajveszteség tolerancia értékek tükrében. Tájökológiai Lapok, 1(2): 181-192. pp. (3) CENTERI Cs. – BARTA K. – JAKAB G. – SZALAI Z. – BIRÓ Zs. (2009): Comparison of EUROSEM, WEPP, and MEDRUSH model calculations with measured runoff and soil-loss data from rainfall simulations in Hungary. Journal of plant nutrition and soil science 172(6): 789-797. pp. (4) KERTÉSZ Á. (2001): A globális klímaváltozás természetföldrajza. Holnap Kiadó, Budapest (5) KERTÉSZ Á. – RICHTER G. (1997): Field work, experiments and methods. Plot measurements under natural rainfall. In: The Balaton project. ESSC Newsletter 1997. 2-3.. Bedford. European Society for Soil Conservation. 15-17. pp. (6) KERTÉSZ Á. – HUSZÁR T. – MIKA J. – LÓCZY D. – MOLNÁR K. (1999): Climate Change and Soil Moisture: A Case Study. Phys. Chem. Earth (A), 24(10): 905-912. pp. (7) KIRKBY, M. (1999):

Application and further development of the MEDRUSH model. Book of Medalus III. Final report. 528-559. pp. (8) KITKA G. – FARSANG A. – BARTA K. (2008): A jelen talajeróziós folyamatok sebességének vizsgálata korábbi területhasználati scenáriók függvényében. Esettanulmány egy mezőgazdasági hasznosítás alatt álló kisvízgyűjtőn. In: KISS T. – MEZŐSI G. (szerk.): Recens geomorfológiai folyamatok sebessége Magyarországon. SzEK-JGyFK, Szeged, 97-108. pp. (9) NEARING, M.A. – FOSTER, G.R. – LANE, L.J. – FINKNER, S.C. (1989): A process-based soil erosion model for USDA – Water Erosion Prediction Project Technology. – Transactions of the ASAE, Vol. 32, No. 5, 1587-1593. pp. (10) SCHWEITZER F. – BALOGH J. (2004): Veszélyes hulladékok felszíni elhelyezése lösszel borított területen (Püspökszilágy). Földrajzi értesítő, 53(3-4): 157-181. pp. (11) SCHWEITZER F. – BÉRCI K. – BALOGH J. (szerk.; (2008): A Bátaapátiban épülő nemzeti radioaktív hulladék-tároló környezetföldrajzi vizsgálata. MTA Földrajztudományi Kutatóintézet, Budapest, 21-32. pp. (12) SCHWEITZER F. – TINER T. – BÉRCI K. (szerk., 2003): A püspökszilágyi RHFT környezet- és sugárbiztonsága. MTA Földrajztudományi Kutatóintézet, Budapest, 105-131. pp. (13) TÓTH A. – SZALAI Z. – JAKAB G. – KERTÉSZ Á. – BÁDONYI K. – MÉSZÁROS E. (2001): Talajpusztulás modellezése a MEDRUSH modell alkalmazásával. Földrajzi Értesítő, 49. 1-4. pp.

A KLÍMAVÁLTOZÁS FIGYELEMBEVÉTELE A KÖRNYEZETI ÉRTÉKELÉSEK BEN

PÁLVÖLGYI TAMÁS

Kulcsszavak: környezeti értékelés, éghajlatváltozás,
stratégiai környezeti vizsgálat, infrastruktúra-fejlesztések.

ÖSSZEFOGLALÓ MEGÁLLAPÍTÁSOK, KÖVETKEZTETÉSEK, JAVASLATOK

A gazdasági tevékenységek tervezésének, előkészítésének egyik központi eleme a környezeti értékelés. Az infrastruktúra-beruházásoknál a környezetvédelmi engedélyezés, tervek, míg a programoknál, koncepcióknál a stratégiai környezeti vizsgálat keretében szükséges környezeti értékelést készíteni. A gazdasági tevékenységeket különbözőképpen érinthetik az éghajlatváltozás közvetlen és közvetett hatásai, melyek igen eltérőek lehetnek akár egy ágazaton belül is, a hely és fejlettség függvényében.

A jelen kutatás arra keresett választ, hogy milyen módszertani keretek között vizsgálható a „ma” induló, hosszú távon ható programok, tervek, koncepciók hatása a „jövő” éghajlatára, illetve a változó éghajlat hogyan befolyásolhatja a fejlesztési törekvések sorsát és hatékonyságát. Legfontosabb megállapítások:

- Az egyes infrastruktúra-fejlesztések „érintettsége” erősen differenciált az éghajlatváltozás szempontjából. A fejlesztési elemek közvetett és közvetlen ÜHG-kibocsátásának figyelembevételével, továbbá az éghajlatváltozásnak a fejlesztésekre gyakorolt visszahatásán keresztül mód nyílik a fejlesztési elemek éghajlati vonatkozásainak objektív elemzésére. Vizsgálataink alapján két klímakategóriába soroltuk a fejlesztéseket. Javasoljuk, hogy az első kategóriába eső fejlesztéseknél (pl. erőmű-létesítés, tüzelőanyag-váltás, közlekedésfejlesztés, intenzív agrártermelés stb.) feltétlenül készüljön éghajlat-változási hatáselemzés.

- Az éghajlat-változási hatáselemzés jól illeszkedik a stratégiai környezeti vizsgálatokhoz. A stratégiai környezeti vizsgálat jogi és módszertani keretei alkalmazhatók az éghajlati hatáselemzésekben, és ezek szerves részét képezhetik a stratégiai környezeti vizsgálatoknak. Az éghajlat-változási hatáselemzés módszertanának első lépéseként kidolgoztunk egy éghajlatvédelmi szempontú fenntarthatósági értékrendet, mely 14 összehasonlítható kritériumot, feltételt támaszt a fejlesztésekkel szemben. Szempontokat adtunk a fejlesztésekkel kapcsolatos, éghajlatvédelmi fókuszáltságu társadalmi participáció szempontjaira.

1. INFRASTRUKTURÁLIS BERUHÁZÁSOKHOZ KAPCSOLÓDÓ KÖRNYEZETI ÉRTÉKELÉSEK KLÍMAELEMEI

Sajátos jellegzetessége az éghajlatváltozás problémakörének, hogy a kedvezőtlen környezeti feltételek visszahatnak a klímakáro-

sító társadalmi-gazdasági tevékenységekre is; melynek következményei megjelenhetnek majd épületek, utak, ellátórendszerek állapotában. Mindennapi életünket meghatározó kérdés, hogy a civilizációs vívmányok, infrastruktúrák mennyire „klímabiztosak”, és a ma fejlesztései vajon kiállják-e a változó klíma támadásait?

Az infrastruktúra alatt azokat a nemzeti gazdasági jelentőségű létesítményeket és szolgáltatásokat értjük, amelyeknek működésképtelensége, akadályoztatása hátrányosan érinti az élet- és vagyonvédelmet, a közegészséget, a közbiztonságot, azaz a társadalom és a gazdaság normális működését. Többek között az infrastruktúrához tartoznak az energiatermelő és -ellátó rendszerek, a közlekedési hálózatok és szolgáltatások, az épületállomány, a hulladékgazdálkodási, ivóvíz és szennyvízkezelési közüzemek. Az infrastruktúra-beruházásokat érintő környezeti értékelésekben a következő éghajlatvédelmi szempontok vizsgálatát javasoljuk (Pálvölgyi, 2006):

(a) *Közvetlen üvegházgáz-kibocsátás vagy -megkötés (direct GHG emissions or removals): a fejlesztés megvalósulásakor, a működés időtartama alatt, a fejlesztés közvetlen következtében milyen mértékű CO₂, CH₄, N₂O stb. kibocsátások léphetnek fel (pl. fosszilis tüzelőanyagok elégetése), milyen mennyiségű ÜHG-kibocsátást vált ki (pl. megújulók), illetve milyen közvetlen biomassza-alapú szénmegkötéssel jár (pl. parkosítás)?*

(b) *Közvetett üvegházgáz-kibocsátás vagy -megkötés (indirect GHG emissions or removals): ide sorolhatók a fejlesztés előkészítésében (pl. építés), valamint a fejlesztés által más helyszínen gerjesztett CO₂, CH₄, N₂O stb. kibocsátások (pl. forgalomnövekedés), valamint biomassza-alapú szénmegkötés.*

(c) *Elsődleges éghajlati hatótényezők (primary impact): a várható éghajlatváltozás következtében változó környezeti, természeti és ökológiai feltételek hatása a fejlesztésre.*

(d) *Másodlagos éghajlati hatótényezők (secondary impact): a várható éghajlatváltozás (illetve a komplex környezeti változás) okozta társadalmi-gazdasági hatások befolyása a fejlesztési törekvésre.*

Az alábbiakban áttekintjük, hogy az egyes ágazatokban megvalósuló fejlesztések milyen éghajlatvédelmi (kibocsátás-csökkentési és alkalmazkodási) vonatkozásokkal járnak (Pálvölgyi, 2008). Hangsúlyozzuk, hogy ezen általános értékelés nem helyettesítheti

az adott beruházásokra elvégzett – pl. karbonlábnyom-számításon alapuló – specifikus éghajlat-változási értékelést.

Villamos- és hőenergia-termelés

Az erőműveknél az elsődleges kihívást a módosuló energiaigények jelentik. *Télen a fűtésienergia-szükséglet (elsősorban földgázfogyasztás) mérséklődésére, nyáron pedig a hűtési villamosenergia-szükséglet jelentős növekedésére számíthatunk.* Egyes becslések szerint 26 °C felett minden egyes fok hőmérséklet-emelkedés száz megawattnyi fogyasztásnövekedést eredményez. A hűtés növekvő energiaigénye egy pozitív visszacsatolást („ördögi kört”) eredményez: a növekvő hőmérséklet növekvő hűtési igényt támaszt, amihez nagyobb áramtermelés szükséges. A többlet-villamosenergia előállítás még több CO₂ kibocsátásával jár, ami tovább emeli a hőmérsékletet.

Az erőművi hő- és villamosenergia-termelés hűtővízellátása is megváltozik. A rendelkezésre álló hűtővíz (vagy hűtőlevegő) hőmérséklete jelentős technológiai hatású: például gázturbinás erőművek esetében, ha 5 °C-kal nő a külső levegő hőmérséklete, kb. 15%-kal csökken az erőmű teljesítménye. *A folyók megváltozó vízhozama szintén problémákat okozhat a rendelkezésre álló hűtővíz mennyiségén keresztül,* akár az is előfordulhat, hogy erőműveket kell leállítani a turbinákat hűtő víz hiánya miatt. Meg kell említeni, hogy a szilárd energiahordozók (pl. lignit, tűzifa, szalma) közúti és vasúti szállítását szintén befolyásolhatják klimatikus faktorok, melyek ellátásbiztonsági kockázatot jelenthetnek.

Az éghajlatváltozás érinti majd a kiaknázzható természeti erőforrásokat, így a megújuló energiahordozókat is, de a változások mértéke (esetenként még a változás iránya is) meglehetősen bizonytalan. *A napenergia hasznosítását a várhatóan erősödő globálsugárzás és a felhőzetben bekövetkező változások egyaránt érintik. A vízenergia alkalmazását alapvetően meghatározza*

majd a folyók módosuló vízhozama, a szél-erőművek teljesítményét pedig a széljárásban bekövetkező változások. Különösen bizonytalan a *mezőgazdasági alapú energiahordozók* kérdése. Az etanol, illetve a biodízel alapanyagául szolgáló kukorica és repce, illetve az erőművekben eltüzelt szalma és energiaerdők hozama minden bizonynyal módosul majd a klímaváltozás hatására, de ennek mértéke ma még ismeretlen. Amennyiben az éghajlatváltozás következményei kihatnak a gazdasági teljesítményre (pl. szállítási költségek, adók növekedése, importenergia versenyelőnye), az elsősorban a „kis létesítményeket” érintheti kedvezőtlenül.

A kritikus infrastruktúra, közüzemek, közszolgáltatások

A heves szellőkésekkel járó *viharok* gyarapodása veszélyezteti a *légvezetéseket*, áramátalakító berendezéseket, illetve a távvezetékek tartóoszlopait. Télen a zúzmara és az ónos eső ráfagyása jelent növekvő terhelést a légvezetéseken. A gyakoribbá váló forró napok – különösen a nagyvárosokban – fokozzák a villamosenergia-csúcsterheléseket, ez pedig váratlan és nagy kiterjedésű áramkimaradásokat okozhat. Az erdős területeken a gyakoribbá váló erdőtűzek, az ártereken pedig az elöntések jelentenek új kockázatot a légvezetésekeknek.

Az *ivóvízellátást* kedvezőtlenül érinti, hogy a víztározók, folyók és tavak szintje lecsökkenhet, de a vízminőségben is kedvezőtlen változásoknak nézünk elébe. A víz- és gázvezeték-hálózatokon a változékonyabb téli időjárás miatt gyakrabban alakulhatnak ki csőtörések, melyek akár ellátási problémákhoz is vezethetnek.

Az éghajlatváltozás következtében módosuló vízjárás igen lényeges az árvízvédelem szempontjából, de a csapadékviszonyok a *hulladéklerakók és a szennyvíztisztítók* működését is befolyásolják. A hulladékgazdálkodás vonatkozásában a növekvő egészségügyi és járványkockázatok említésre méltóak.

A közlekedés

Télen a síkos utak (pl. ónos eső) és a rossz látási viszonyok (köd) előfordulása gyarapszik, mely a *közlekedési feltételek romlását* vonja maga után, míg nyáron a villámcsapások gyarapodása a *vasútbiztonsági berendezéseket* is veszélyezteti. Ha a növekvő mennyiségű téli csapadék jelentős mennyiségű havazás formájában ér talajt, úgy a hóakadályok fellelésének gyakoribbá válása is elképzelhető. A *légi közlekedés* esetében a ködös, jegesedéssel járó napok gyarapodása kedvezőtlen helyzetet teremt, nyáron pedig a magasabb hőmérséklet az üzemanyag-fogyasztás növekedését vonja maga után. A repülőtéri kifutópályákon a hirtelen lezúduló csapadékvíz elvezetése jelenthet problémát. Az *áruszállítás és a logisztikai szolgáltatások* esetében nőhet a „just in time” készletgazdálkodási rendszerek klímaérzékenysége, mely visszahat a gyártásra és a kereskedelemre.

A hirtelen lezúduló csapadék alámoshatja a *közúti és vasúti töltéseket, partfalakat*, esetenként földcsuszamlásra vezethet, a tartósabb aszály pedig ugyanezen műtárgyak állékonyságát rontja (süppedés). Az éghajlatváltozás kedvezőtlenül érintheti az *utakat, autópályákat szegélyező növénytakarók*, élőhelyek biológiai sokféleségét is. A nyári hónapokban fokozódó *aszfaltkárosodásokra* számíthatunk. A huzamosabb ideig fennálló hőségnapok a burkolat nyomvályúsodásának drasztikus erősödését vonják maguk után, különösen ha a napi átlaghőmérséklet legalább három egymást követő napig nem süllyed 26 °C alá. A forró napok a *vasúti sínek deformálódását*, vetemedését is magukkal hozzák. A fagypont körüli hőmérséklet és a változó halmazállapotú csapadékok is kedvezőtlenül érintik az útburkolatok állagát: az aszfaltrepedésekbe szivárgó nedvesség kátyúsodást okoz, mely jelenség szintén gyakoribbá válik majd. A hevesebb, erősebb szellőkésekkel járó viharok nem kímélik majd a közlekedésbiztonsági berendezéseket, közlekedési lámpákat, KRESZ-táblákat sem.

Az épített környezet

Az árvíz- és belvíz-veszélyeztetett területeken nőhetnek a víz okozta épületkárok, a kedvezőtlenül változó szél- és csapadékviszonyok szintén növelik az építési kockázatot. Az épületszerkezeteket elsősorban a megváltozott hőteher, valamint a hevesebb viharokkal járó szélteher és jégeső érintheti. Különösen veszélyeztetettek a tetőszerkezetek és a homlokzati elemek rögzítő elemei, melyek vihar okozta károsodása még az új épületek esetében is előfordulhat. A kivitelezési helyszínek és tevékenységek növekvő időjárás-érzékenysége számíthatunk. A nyáron végzett kültéri építési tevékenységek során a magas hőmérséklet és a megnövekedett ultraibolya sugárzás fokozódó munkabiztonsági kockázatot jelent. A kültéri betonozási munkálatok feltételei is kedvezőtlenebbre fordulnak: a szárazabb és forró nyarak a kötési idő megváltozását vonhatják maguk után, a nedvesebb őszi és téli beton felső rétegében szilárdsági problémákra vezethet. Az ingatlanpiacra kiható változásra számíthatunk a lakóhely- és lakásválasztás esetében. Az ingatlanvásárlások során érzékelhető lesz a „menekülés a városokból”, illetve az energiatakarékos és klímabiztos épületek felértékelődése.

Az aszfaltozott utak, a városok ritkás növényzete, az egyre gyarapodó nagy üvegfelületű épületek és ezek hűtését szolgáló légkondicionálók használata „ráerősítenek” az éghajlatváltozás okozta hőmérséklet-emelkedésre, és helyenként már-már elviselhetetlen városi hőszigeteket okoznak. A városi hősziget hatás erősödésével párhuzamosan a városok nem kellően átgondolt közlekedési infrastruktúrája, a gépjárművek számának és használatuk gyakoriságának növekedése együtt járulnak hozzá a városi levegőminőség romlásához.

Az éghajlat változókéonyabbra és szélsőségesebbé fordulása kedvezőtlenül érintheti a városi úthálózat állapotát és a közösségi közlekedést. Az üzemanyagok áremelkedése és a közlekedési infrastruktúra fenntartási költsé-

geinek növekedése is érzékelhető másodlagos hatást okozhat a városi közlekedésben. A városi csatornarendszereket, folyó menti közlekedési útvonalakat, hídpilléreket jelentősen megterhelhetik a gyarapodó és súlyosbodó áradások. Az éghajlatváltozás kedvezőtlenül érintheti a városi természeti és kulturális örökséget. A hőhullámok, illetve a változó-konyabb téli időjárás veszélyezteti a műemlékeket, közparkokat, miközben valószínűleg növekszik az igény a „természet” iránt.

Az ipari termelés és szolgáltatások

Egyes erőforrás-igényes ipari ágazatokat (pl. vegyipar, élelmiszeripar, építőanyag-ipar) a vízhiány, a növekvő hűtésigény, a növekvő CO₂-csökkentési költségek és a változó fogyasztói igények egyaránt kedvezőtlenül érinthetik. Az áradások több, a Duna, illetve a Tisza partjára települt veszélyes ipari üzemet is veszélyeztethetnek.

Az idegenforgalmi infrastruktúra fejlesztése (pl. szálloda-, gyógyfürdő-, kikötőépítés) a magasépítéshez hasonló klímaérzékenységet mutat. A változó éghajlat kismértékben befolyásolhatja az idegenforgalmi építmények, műemlékek állagát, illetve másodlagos hatások jelentkezhetnek az építési költségek és a „szelíd” turizmus (pl. kerékpározás, természetjárás, falusi turizmus) elterjedése terén.

A fentiek figyelembevételével, korábbi kutatásokra alapozva (Pálvölgyi, 2006) az infrastruktúra-fejlesztéseket az éghajlat-változási szempontú környezeti értékelés alapján két csoportra osztottuk:

a) *Kötelező éghajlat-változási szempontú értékelés:* a fejlesztések az üvegházhatású gázok kibocsátása (vagy megkötése) szempontjából fokozott figyelmet érdemelnek, a tervezési célok megvalósulását a várható éghajlatváltozás számottevően befolyásolhatja.

b) *Ajánlott éghajlat-változási szempontú értékelés:* E fejlesztések különböző, de általában kisebb mértékű ÜHG-kibocsátást vonnak maguk után, és a fejlesztések eredményeit a bekövetkező éghajlatváltozás következményei kisebb mértékben kockáztatják. Ezeknél

1. táblázat

A fejlesztések csoportosítása az éghajlat-változási hatásértékelés szükségessége szempontjából

Éghajlat-változási szempontú értékelés	
„Kötelező”	„Ajánlott”
Erőművek fosszilis tüzelőanyag felhasználással	Hulladéklerakó- és szennyvíztisztító-létesítés, csatornázás
Atomerőmű-építés, élettartam-hosszabbítás	Építőanyag-ipar (pl. üveg-, kerámia- és cementgyártás)
Erőművek biomassza tüzeléssel	Élelmiszeripar
Energetikai és ipari célú faültetvények kezelése	Termál és gyógyturizmus fejlesztése
Épületek fűtése, hűtése, világítása	Természetvédelmi erdő- és területgazdálkodás
Légi forgalommal kapcsolatos fejlesztések	Fémipar (acél- és alumíniumgyártás)
Közúti személyforgalom és áruszállítás	Diverzifikált megújuló energiaellátó rendszerek
Városi közlekedésfejlesztés	Kertészet
Autópálya-, közút-, alagút-, hídépítés	Vegyipar
Nagyüzemi állattartás	Lakás- és irodaépítés
Nagyábrás növénytermelés	Kisteljesítményű gázturbinás erőmű
Komplex farmgazdálkodás	Ár- és belvízvédelmi műtárgyak

eseti mérlegelés döntheti el, hogy van-e szükség éghajlat-változási hatáselemzésre.

Az éghajlat-változási hatásértékelés szükségessége szerint csoportosított fejlesztéseket az 1. táblázatban közöljük.

2. AZ ÉGHAJLATVÁLTOZÁS FIGYELEMBEVÉTELE A STRATÉGIAI KÖRNYEZETI VIZSGÁLATOKBAN

A stratégiai környezeti vizsgálat (SKV) a jelentős környezeti kihatású koncepciók, tervek és programok környezeti szempontú értékelésének és befolyásolásának eszköze. A jelen fejezetben áttekintjük az SKV és a fenntarthatósági értékrend összefüggéseit és bemutatjuk, hogy az SKV környezeti jelentésben hogyan lehet a klímaváltozást figyelembe venni.

Az éghajlatvédelmi szempontok figyelembevétele az SKV jelentésben

Az SKV nemcsak a vizsgált dokumentum (továbbiakban: Program) környezeti, fenntarthatósági szempontú értékelésének, átvilágításának eszköze, hanem egyben a program ki-

dolgozását, végrehajtását és nyomon követését környezeti irányba befolyásoló erő. Ez akkor teljesíthető, ha az alkalmazott módszertan megvizsgálja, hogy az éghajlatvédelmi szempontból releváns fenntarthatósági és környezeti célok milyen mértékben integrálódnak a vizsgált Programba. A vonatkozó jogszabályok¹ figyelembevétele alapján a klímavédelmi integrációt is lehetővé tevő SKV módszertannak az alábbiakat kell biztosítania:

a) Elemzési támogatást kell nyújtania ahhoz, hogy a Program lehetővé tegye az ÜHG-kibocsátások megelőzését és a várható éghajlatváltozásra való felkészülést.

b) A programozási, tervezési folyamat klímavédelmi, fenntarthatósági szempontú befolyásolását, alternatívák, javaslatok kidolgozását és életciklus-szemléletű elemzését.

c) Az éghajlatvédelmi fenntarthatósági értékrend meghatározását, valamint ezek

¹ Az Európai Parlament és a Tanács 2001/42/EK irányelve bizonyos tervek és programok környezetre gyakorolt hatásainak vizsgálatáról; 2/2005. (I. 11.) Korm. rendelet egyes tervek, illetve programok környezeti vizsgálatáról; 148/1999. (X. 13.) Korm. rendelet az országhatáron áterjedő környezeti hatások vizsgálatáról szóló Espoo-egyezmény kihirdetéséről.

jelentőségének elemzését a Program fejlesztési törekvéseinek szempontjából.

Az alkalmazott SKV módszertan a GRDP kézikönyv (GRDP, 2006) alapján olyan elemzési-értékelési keretet alkot, amely feltárja, hogy a Programnak milyen közvetlen vagy közvetett kihatása lehet a környezetre, milyen környezeti változások várhatók a hatások közvetkeztében, milyen természetűek és kiterjedésűek a bekövetkező hatások, illetve van-e lehetőség megelőzni vagy csökkenteni a várható jelentős károkat. Az elemzési-értékelési módszertan arra a – korábban kidolgozott és alkalmazott (Pálvölgyi – Tombác, 2004) – meg-

közelítésre épít, hogy a *Program stratégiai szintjét (célrendszerét, prioritásait) egy éghajlatvédelmi szempontú értékrendhez viszonyítjuk* (2. táblázat). A gyakorlatban ez azt jelenti, hogy a Program prioritásainak, fejlesztési irányainak az éghajlatvédelmi értékrendnek való megfelelését minden egyes értékrendelemre 5 fokozatú skálán jellemezzük.

Megjegyezzük, hogy a „pontosítás” értékelés nem a prioritások és célok általános megítélésére szolgál, hanem – az SKV javaslattevő jellegének eleget téve – a negatív értékekkel azokra az éghajlatvédelmi szempontokra (értékrendelemekre) hívja fel

2. táblázat

Éghajlatvédelmi szempontú értékrend

1	A fejlesztés eredményeképpen légkörbe kerülő ÜHG-gázok mennyiségét korlátozni, ahol ez szükséges és lehetséges, csökkenteni kell
2	A fejlesztés nem vezethet az érintett fejlesztés helyén kívül, más térségekben (közvetett) ÜHG-kibocsátáshoz, illetve környezeti elemek terhelése (emissziók és hulladék) nem haladhatja meg az érintett lokális környezeti rendszerek terhelhetőségét, elnyelő képességét
3	A fejlesztés kivitelezése, építése, operatív működését megelőző fázisa során az ÜHG-kibocsátásokat minimalizálni kell
4	A fejlesztést követően, annak működésének lezárultával keletkező hulladékokból származó ÜHG-kibocsátásokat minimalizálni kell
5	A fosszilis tüzelőanyagok felhasználását minimalizálni kell, összhangban az emberi egészség védelmével, valamint a természetes ökoszisztémák állapotának megőrzésével
6	A feltételeken megújuló energiahordozók alkalmazását korlátozni kell az újratermelődés fenntarthatósági szintjének és az ökológiai rendszerek tűrőképességének figyelembevételével
7	A szénmegkötő képességű természeti erőforrásokkal való gazdálkodásban a feláldozott és a létrehozott értékek pozitív egyenlege kell hogy érvényesüljön, miközben a biológiai sokféleség megőrzésének feltételeit is biztosítani kell
8	A fejlesztésnek alkalmaznia kell az energia- és erőforrás-takarékos megoldásokat, a hulladékkímélő és újrahasznosítási eljárásokat
9	A fejlesztéseknél a területkímélő megoldásokat kell előnyben részesíteni, miközben az építészeti, táji és kulturális értékek fennmaradását biztosítani kell
10	A fejlesztés következtében a természetbe hulladékként visszakerülő, lebomló szerves anyagok mennyiségét csökkenteni kell
11	A helyi szinten kezelhető erőforrások használata elsősorban a helyi közösség hasznát szolgálja
12	A fejlesztésnek meg kell őriznie a helyi kultúrát, azokat a termelői és fogyasztói mintázatokat, amelyek a változó környezethez való alkalmazkodás során alakultak ki, s hosszú távon biztosították a helyi közösség és környezet harmóniáját. Ha ez már nem lehetséges, a fejlesztéseknek a fenntartható termelői és fogyasztói mintázatok kialakítását kell támogatnia
13	A várható éghajlatváltozásnak a fejlesztésekre gyakorolt hatását minimalizálni kell, oly módon, hogy a fejlesztés és a változó klíma kölcsönhatása az érintettek számára a lehető legkisebb környezeti, biztonsági és gazdasági kockázatot jelentse
14	Biztosítani kell, hogy az éghajlatvédelem jelentősége tudatosuljon, tudományos céljai és eszközei elismerést és támogatást nyerjenek a társadalomban és a döntéshozók soraiban, oly módon, hogy az érintetteknek a döntésekben való részvétele biztosítva legyen

a figyelmet, ahol a prioritások és célok megfogalmazásában a megelőzés és a felkészülés szempontjait határozottabban kellene megjeleníteni. Azaz *a módszertan egy analitikus javaslattevő eszköz*, amely konkrét útmutatást kíván nyújtani, hogy mely prioritásokat/célokat, fejlesztési irányokat milyen vonatkozásban javasoljuk módosítani.

Együttműködés az érintettekkel az éghajlat-változási szempontú értékelésben

Arra már általánosan utaltunk, hogy az SKV folyamatának egyik centrális eleme az érdekelttekkel kapcsolatos egyeztetés. *A fejlesztési törekvésekkel kapcsolatos információknak* a következő éghajlati vonatkozásokra célszerű kitérnie:

- A fejlesztés hatása a főbb hatótényezőkre (energiaigény, területhasználat, forgalomvonzás, építésiigény stb.).
- A fejlesztés „hozzájárulása” az ÜHG-kibocsátásokhoz.

– A tervezés és a megvalósítás során bevezetésre kerülő éghajlatvédelmi lépések, különös tekintettel a karbonsemleges megoldásokra.

– A várható éghajlatváltozás hatása a fejlesztésre.

Az információkat minden egyes célcsoport számára külön-külön kell összeállítani, figyelemmel az érdeklődésre, a képzettségre és a társadalmi részvétel szerepének jellegére. *A fontosabb célcsoportok* a következők:

- A fejlesztés által érintett közösségek (önkormányzatok).
- Civil szervezetek (környezet-, egészség- és fogyasztóvédelmi szervezetek).
- A fejlesztés megvalósításában érdekelt gazdasági szereplők (tervezők, kivitelezők, beszállítók stb.).
- Közép- és felsőfokú oktatási intézmények (tanulók és pedagógusok).
- Helyi politikai, közigazgatási és gazdasági döntéshozók.
- Helyi (esetenként országos) média.

FORRÁSMUNKÁK JEGYZÉKE

(1) EEA (2008): EEA Report No 4/2008: Impacts of Europe's changing climate – 2008 indicator-based assessment. (2) GRDP (2006): Handbook on SEA for Cohesion Policy 2007-2013, Greening Regional Development Programmes Network February 2006, Exeter, UK (3) IPCC (2007): Éghajlatváltozási Kormányközi Testület negyedik értékelő jelentése, a munkacsoportok vezetői összefoglalói. KvVM-OMSZ (4) LÁNG I. – CSETE L. – JOLÁNKAI M. (szerk., 2007): A globális klímaváltozás: hazai hatások és válaszok: a VAHAVA jelentés. Szaktudás Kiadó Ház, Budapest, ISBN 978-963-9736-17-7 (5) OVERBYE, T. ET AL. (2007): The Electric Power Industry and Climate Change: Power Systems Research Possibilities. Power Systems Engineering Research Center, Washington (PSERC Publication 07-16) (6) PÁLVÖLGYI T. (2006): A stratégiai környezeti vizsgálatok klíma elemei. „AGRO-21” Füzetek 47. sz., 3-16. pp. (7) PÁLVÖLGYI T. (2008): Az éghajlatváltozás hatásai az épített környezetre és az infrastruktúrára. In: Fodor I. – Suvák A. (szerk.): A fenntartható fejlődés és a megújuló természeti erőforrások környezetvédelmi összefüggései a Kárpát-medencében. MTA Regionális Kutatások Központja, Pécs (8) PÁLVÖLGYI T. (2008): Gazdaság, társadalom, infrastruktúra. In: Harnos Zs. – Gaál M. – Hufnagel L. (szerk.): Klímaváltozásról mindenkinek. Budapesti Corvinus Egyetem hivatalos kiadványa, Budapest (9) PÁLVÖLGYI T. – TOMBÁCS E. (2004): Módszertan a regionális fejlesztések stratégiai környezeti vizsgálatára. In: Strukturális alapok és fenntarthatóság. Magyar Természetvédők Szövetsége, Budapest (10) PÁLVÖLGYI T. – SZLÁVIK J. – FÜLE M. – NAGYPÁL N. (2005): ECO-21: Development of a Complex Environmental Performance Indicator for Hungary. In: Banse, G. – Hronszky, I. – Nelson, G. (eds.): Rationality in an Uncertain World. edition Sigma, Berlin (11) STRÓBL A. (2005): Magyarország villamosenergia fogyasztása, az igények alakulása. Magyar Atomforum Egyesület, Budapest

A KISTÉRSÉGI SZINTŰ ÉGHAJLAT-VÁLTOZÁSI SÉRÜLÉKENYSÉGVIZSGÁLAT MÓDSZERE ÉS EREDMÉNYEI

PÁLVÖLGYI TAMÁS – CZIRA TAMÁS – DOBOZI ESZTER –
RIDEG ADRIENN – SCHNELLER KRISZTIÁN

Kulcsszavak: éghajlatváltozás, érzékenység,
alkalmazkodóképesség, sérülékenység, kistérségek.

ÖSSZEFOGLALÓ MEGÁLLAPÍTÁSOK, KÖVETKEZTETÉSEK, JAVASLATOK

A kutatómunka célja olyan objektív alapú hatásvizsgálati módszertan kialakítása, amellyel kvantitatív módon jellemezhető és egymással összehasonlítható egy-egy térség éghajlatváltozással szemben mutatott komplex természeti, társadalmi, gazdasági sérülékenysége. A térségi kitettség, érzékenységen és alkalmazkodóképességen alapuló éghajlat-változási sérülékenységvizsgálat módszerének (CIVAS modell) területi szinten elvégzett hazai adaptációjakor több területi komplex indikátor kialakítására került sor. Tesztelés alá vontuk egy regionális éghajlati modell (RACMO klímamodell) kistérségi alkalmazhatóságát, illetve térképes összehasonlító elemzéseken keresztül meghatároztuk tématerületenként a kistérségek kitettségét, érzékenységét, alkalmazkodóképességét és ezek eredőjeként komplex sérülékenységük relatív szintjét is. A kutatómunka megalapozta a területfejlesztési szakpolitika klímaváltozás mérséklésére vonatkozó négyéves szakmai programját, és hozzájárulhat a térségeink sajátos adottságain alapuló, a fenntartható fejlődést figyelembe vevő klíma- és területi stratégiák kialakításához.

BEVEZETÉS

Széles körű tudományos konszenzus az éghajlatváltozás elkerülhetetlensége. Bár a visszafordíthatatlan, katasztrofális környezeti változások talán még megelőzhetők, a hatások és következmények térbeni megoszlása igen különböző lehet. Magyarországon eltérő okokra vezethetők vissza a területi egyenlőtlenségek (pl. a nyugat–keleti, illetve újabban az északnyugati–déli gazdasági lejtő, a városias-vidéki térségek egyenlőtlenségei és súlyos társadalmi, jövedelmi különbségek), amelyek az éghajlatváltozás hatásaira tovább mélyülhetnek, mert az egyes régiók, kistérségek és a társadalmi rétegek más-más módon és mértékben sérülékenyek a változásokkal szemben. Különösen kedvezőtlenül érinthe-

ti a szociálisan rászorulókat, a halmozottan hátrányos helyzetű térségeket és közösségeket, így valószínűsíthető, hogy ezek a kedvezőtlen adottságú térségek és a különböző társadalmi csoportok (pl. a szegények, idősek) alkalmazkodási és felkészülési lehetőségei is eltérnek egymástól. Összességében a hatások jelentkezésével nőhet a területek gazdasági differenciáltsága, fokozódhatnak a társadalmi különbségek és akár újabb súlyos társadalmi egyenlőtlenségek is kialakulhatnak (Láng – Csete – Jolánkai, 2007). Ugyanakkor az éghajlatváltozás területi szintű stratégiai integrációjának módja és gyakorlati eszközei jelenleg még részben kidolgozatlanok, ezért ezekhez szükséges a megfelelő területi szintű sérülékenységvizsgálat elvégzése, illetve a megelőzési, alkalmazkodási lehetősé-

gek feltárása, amelyek elősegítik a stratégiai tervezési tevékenységben megjelenő intézkedések meghozatalát (Czira et al., 2010).

A jelen vizsgálat célja, hogy azonosítsa az éghajlatváltozás értékelésének területfejlesztésben betöltött funkcióját, területi tervezési feladatait és szerepét – első lépésben a kistérségi szintű várható hatások feltárása révén, amely meghatározásának segítségével összehasonlíthatóvá válik a magyarországi kistérségek éghajlat-változási sérülékenysége. Vizsgálatunkban törekedtünk a legáltalánosabb területi szint kiválasztására, mert a kedvezőtlen változások elsősorban helyileg, „adott helyen”, a településekben, kistérségekben jelentkeznek. Ez ugyan már térségi szintnek tekinthető, de még közel áll a társadalom tagjaihoz és az általuk szervezett vagy működtetett, illetve igénybe vett ellátórendszerekhez, valamint ez a térségi önszerveződés legfontosabb színtere.

1. AZ ÉGHAJLAT-VÁLTOZÁSI SÉRÜLÉKENYSÉGVIZSGÁLAT A CIVAS MODELLBEN

A kistérségi szintű éghajlatváltozás vizsgálatának kiindulópontja, hogy egyértelműen azonosítsuk a környezet, a társadalom és a gazdaság különböző szintjein jelentkező hatásokat. Sajátos jellegzetessége e problémakörnek, hogy az éghajlati körülmények szélsőséges eseményei visszahatnak a helyi klímakárosító társadalmi-gazdasági tevékenységekre is, így nemcsak az éghajlatváltozás közvetlen következményei jelenthetnek gondot, hanem közvetve „mikroszinten” például vállalatok, közösségi értékek (épületek, utak), ellátórendszerek állapotát is veszélyeztethetik klimatikus hatások. Mindennapi életünket is meghatározó kérdés, hogy civilizációs vívmányok, épületek, infrastruktúrák mennyire „klímabiztosak”, és a ma fejlesztései vajon kiállják-e majd a változó klíma támadásait. Az éghajlati hatások komplex láncolata (1. ábra) a következő (Pálvölgyi, 2008):

– *Közvetlen éghajlati hatások – változás a klímaparaméterekben:* az éghajlatváltozás elsődleges megjelenési formája a regionális klímaindikátorokban megmutatkozó változások: pl. felmelegedés, csapadékváltozás, az átlagokban és a szélsőségekben jelentkező módosulások. A klímaindikátorokban várható változások számszerű értékeit általában a klímamodellek szolgáltatják.

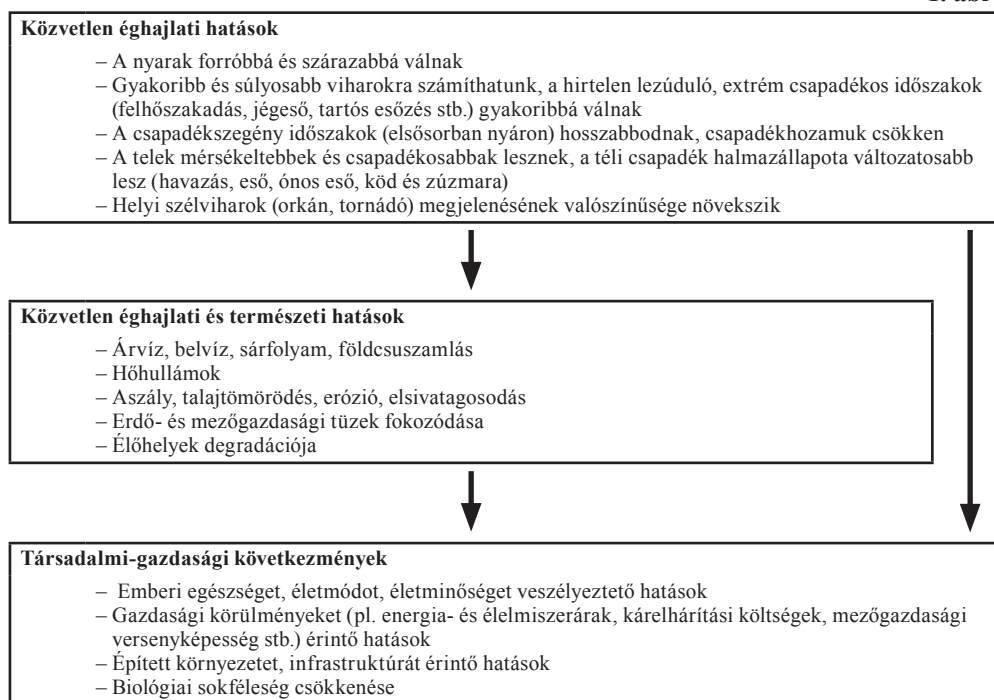
– *Közvetett éghajlati és komplex természeti hatások:* az éghajlat megváltozása összetett – egymással is kölcsönható és a klímaindikátorokra is visszaható – helyi természeti jelenségeket generál; többek között hőhullámokat, aszályokat és árvizeket, levegő- és vízminőség-romlást, élőhelyek degradációját. Lényeges, hogy a helyi hatásviselőket nem elsősorban a klímaindikátorok változása, hanem az ebből fakadó komplex természeti következmények érintik.

– *Természeti, társadalmi, gazdasági következmények:* a komplex természeti következmények „begyűrűznek” a helyi ökoszisztémákba, termelési-termelési rendszerekbe; azaz a közvetlen éghajlati hatások és a természeti rendszerekben, ökoszisztémákban fellépő közvetett hatások együttesen vezetnek kedvezőtlen társadalmi-gazdasági következményekre (pl. energia- és élelmiszerárak, emberi egészség, épített környezet, mezőgazdasági versenyképesség, biodiverzitás-csökkenés).

A kistérségeket tehát különböző hatások érik, és erre különbözőképpen reagálnak, ezzel eltérő jellegzetességeket mutatnak az éghajlatváltozással kapcsolatban. A CIVAS (Climate Impact and Vulnerability Assessment Scheme) modell lényege, hogy egy-egy módszerrel kereteket biztosítson a kvantitatív éghajlati hatásvizsgálatokhoz, így segítségével modellezhető a területek sérülékenysége az éghajlatváltozás szempontjából, amelyet jelen esetben a kistérségi szint vizsgálatával valósítunk meg.

A CIVAS modell az Éghajlatváltozási Kormányközi Testület Negyedik Értékelő Jelentésében (IPCC, 2007) közzétett megközelítésen alapul, de számos hazai alkalmazási előzmény

1. ábra



Közvetlen és közvetett éghajlati hatások, komplex társadalmi-gazdasági következmények

Forrás: Pálvölgyi, 2008

is fellelhető a szakirodalomban. A modell a CLAVIER¹ nemzetközi klímakutatói projekt keretében készült (Pálvölgyi – Hunyady, 2008), többek között az éghajlatváltozás ökológiai és épített környezetre gyakorolt hatásainak vizsgálatára. A modell a környezeti állapotértékelésben széles körben alkalmazott DPSIR² modellt is jól követi (2. ábra).

¹ CLAVIER projekt: Climate Change and Variability: Impact in Central and Eastern Europe EU 6. Keretprogramja, GOCE Contract Number: 037013.

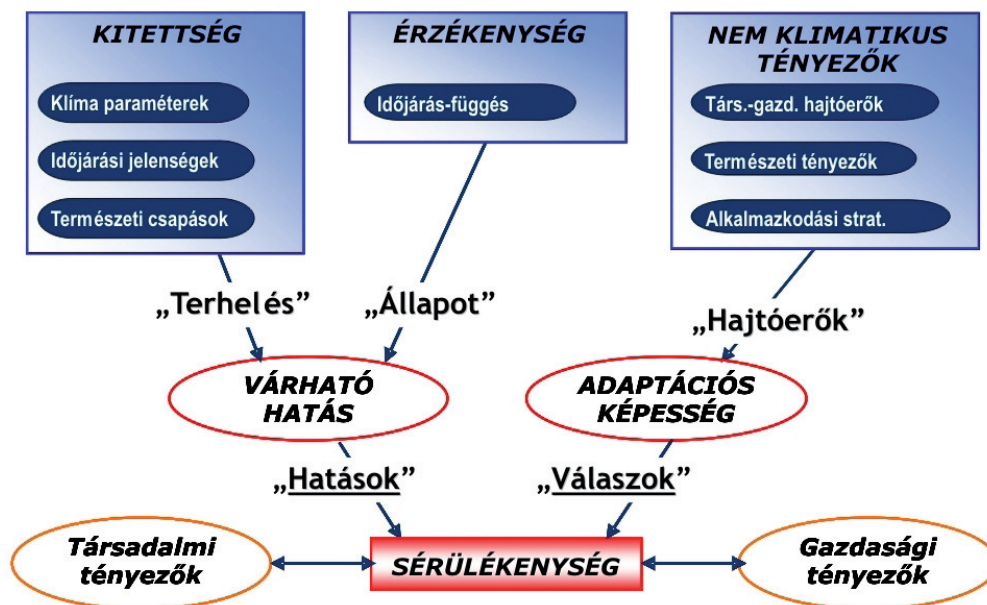
² DPSIR (Driving Force – Pressure – State – Impact – Response) modell: az Európai Unióban kidolgozott és elfogadott környezetértékelési vizsgálati modell, amely az OECD PSR modelljén alapul és fenntarthatósági indikátorokat is alkalmaz a társadalmi-gazdasági-környezeti folyamatok leírására.

Mint arra fentebb utaltunk, a lokális éghajlati hatások a társadalmi-gazdasági-környezeti térben egyaránt jelentkeznek (pl. aszály, terméshozam-kiesés, mezőgazdasági jövedelmek csökkenése), ezért az éghajlatváltozás területi hatásait a kitettség (exposure) → érzékenységi (sensitivity) → várható hatás (impact) → adaptivitás (adaptive capacity) → sérülékenységi (vulnerability) kontextusban kell vizsgálni.

A CIVAS modell kistérségi realizációjában bevezetett meghatározások a következők:

– *Komplex éghajlati problémák, hatásviselő rendszerek:* a modell alkalmazásának első lépéseként meg kell határozni, hogy milyen – a társadalmi, gazdasági, környezeti térben egyaránt jelentkező – komplex éghajlati problémákkal írjuk le a kistérségi szintű éghajlatváltozást, és ezeknek „kik”, milyen rendszerek a hatásviselői.

2. ábra



A sérülékenységvizsgálat fogalmi keretei és a CIVAS modell elvi felépítése

Forrás: Pálvölgyi, 2008

– *Kitérttség (exposure)*: kistérségi szintű éghajlatváltozás; azaz „helyben” hogyan változik a klíma. Eltérően az érzékenységtől (amely a hatásviselőt jellemzi), a kitérttség csak földrajzi helyre jellemző, amelyről adatok, információk a klímamodellekből nyerhetők.

– *Érzékenység (sensitivity)*: a hatásviselő (pl. mezőgazdaság, emberi egészség, építmények állapota) időjárásfüggő viselkedése (pl. aszályhajlam, erdőtüzkockázat). A hatásviselő rendszerek érzékenységét függetlennek tekintjük a klímaváltozástól, és elsősorban a hatásviselő rendszerre jellemző.

– *Várható hatás (potential impact)*: az érzékenység és a kitérttség kombinációja, amely egyaránt jellemző a földrajzi helyre és a vizsgált hatásviselő rendszerre (pl. mortalitással súlyozott városi hőszigetelés).

– *Alkalmazkodóképesség (adaptive capacity) és egyéb nem-klimatikus faktorok*: a helyi társadalmi-gazdasági válaszok „ereje”

a klímaváltozásra (például a mezőgazdasági alkalmazkodás egy formája az öntözés, amely többek között a mezőgazdasági jövedelmezőségtől függ).

– *Sérülékenység (vulnerability)*: komplex mutató, amely a várható hatásokat kombinálja az alkalmazkodóképességgel; figyelembe veszi, hogy ugyanaz a várható hatás egy gyengébb alkalmazkodóképességű kistérségben súlyosabb következményekkel járhat.

A CIVAS modell alkalmazásának főbb lépéseit az 1. táblázat tartalmazza.

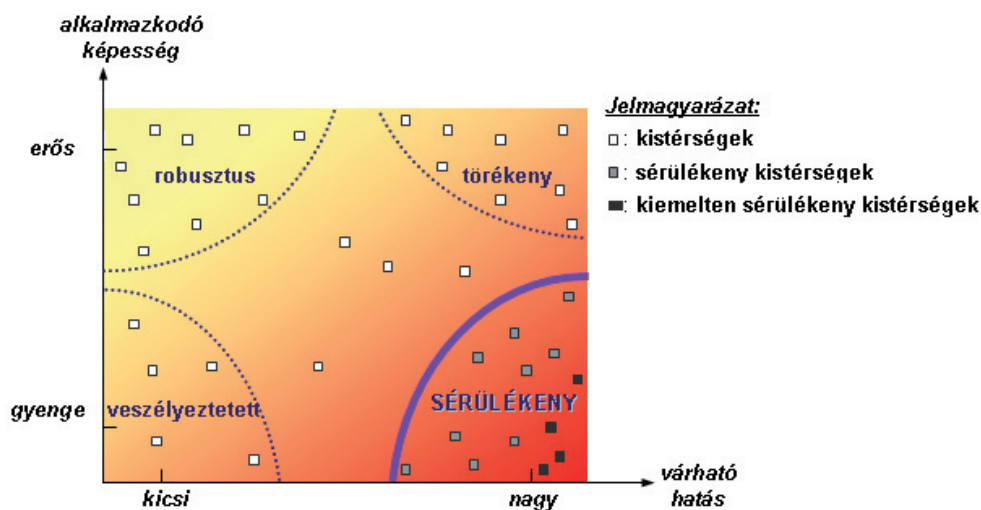
Az éghajlat-változási sérülékenységet komplex mutatóként írjuk le, amely integrálja a *kitértséget* (azaz egy adott helyen az éghajlat várható megváltozását), az *éghajlati érzékenységet* (azaz egy adott helyen a természeti környezet indikátorainak „meteo-szenzitivitását”), valamint az *alkalmazkodóképességet* (azaz egy adott helyen a társadalomnak és a gazdaságnak a változásokat kivédő, elhárító erejét). Így egy

1. táblázat

A CIVAS modell alkalmazásának főbb lépései

I. fázis: Hatásviselők, indikátorok, számítási eljárások meghatározása	
1. lépés	Komplex éghajlati problémák, hatásviselő rendszerek meghatározása A problémák ismertetése, szerepük a helyi éghajlati sérülékenység kialakulásában
2. lépés	Érzékenységi indikátorok meghatározása Minden egyes komplex problémára külön-külön
3. lépés	Kitettségi indikátorok meghatározása Összhangban az érzékenységi indikátorokkal, finom felbontású regionális éghajlatmodellek eredményei alapján
4. lépés	A várható hatás számítási módszerének meghatározása Az érzékenységi és a kitettségi indikátor együttes figyelembevételének matematikai reprezentációja
5. lépés	Alkalmazkodóképességet leíró indikátorok meghatározása Minden egyes komplex problémára külön-külön; problémára jellemző társadalmi-gazdasági válaszok
6. lépés	A sérülékenység számítási módszerének meghatározása A várható hatás és az alkalmazkodóképesség-indikátorok együttes figyelembevételének matematikai reprezentációja
II. fázis: Számítások, értékelés, elemzés	
7. lépés	Az I. fázisban meghatározott indikátorok előállítás A 2., 3. és 5. lépésekben meghatározott indikátorok számszerű értékeiből adatbázis készítése
8. lépés	A sérülékenység számítása Az I. fázis 4. és 6. lépése alapján adatbázis készítése
9. lépés	A kistérségi sérülékenység elemzése, értékelése A leginkább sérülékeny kistérségek lehatárolása, térképezése, összehasonlító értékelése

3. ábra



A kistérségek klímásérülékenységének osztályozása

Forrás: Pálvolgyi, 2009

komplex természeti, gazdasági és társadalmi sérülékenységet határozhatunk meg az éghajlatváltozásra (3. ábra).

2. AZ ÉGHAJLATVÁLTOZÁS KISTÉRSÉGI SZINTEN RELEVÁNS KOCKÁZATI TÉNYEZŐI, PROBLÉMÁI ÉS FOLYAMATAI

A CIVAS modell alkalmazásának első lépése – mint korábban kifejtettük – a kistérségi szinten releváns (jelentős hatású, de megfelelő adatokkal alátámasztott) komplex éghajlati problémák azonosítása.

A magyarországi éghajlatváltozás kilátásait, a várható hatásokat széleskörűen összegző VAHAVA projekt (*Láng – Csete – Jolánkai, 2007*), valamint az Európai Környezeti Ügynökség legutóbbi, indikátor-alapú elemzését (*EEA, 2008*) figyelembe véve a kistérségi szintű klímásérülékenység-vizsgálathoz kiindulásként a következő komplex természeti, társadalmi, gazdasági problémákat határoztuk meg:

1. Aszály és szárazodás okozta mezőgazdasági és vidékfejlesztési kockázatok.
2. Erdőtűzveszély.
3. Városi hőhullámok közegészségügyi kockázatai.
4. Biológiai sokféleség csökkenése, különösen a természetvédelmi oltalom alatt álló területek veszélyeztetettsége.
5. Szélsőséges vízjárás: árvíz kockázatok az épített környezetben.

Alapfeltevések és megközelítések

A kitettség, az érzékenység és az alkalmazkodóképesség – komplex problémák leírására definiált; térben és időben folytonos – indikátormezőit hosszabb időre vonatkoztatott kistérségi területi átlaggal közelítjük. Ez egyben azt is jelenti, hogy a kitettség indikátorok kialakításakor az éghajlat-modellezésben szokásos 30 éves időátlagú éghajlat-változási forgatókönyvekből indultunk ki. Ugyanakkor az érzékenység és az alkalmaz-

kodóképesség indikátorainak meghatározása során feltételeztük, hogy e mutatók időben nem változó jellemzők.

A sérülékenységvizsgálatban arra törekedtünk, hogy olyan bemeneti indikátorokat válasszunk, amelyek területi eloszlása ismert; a hazai szakirodalomban, hivatalos adatbázisokban elérhetők. Ebből következően jelen vizsgálatokban az indikátorok megválasztása első kísérletnek tekinthető, amellyel *azt kívánjuk bemutatni, hogy az éghajlati sérülékenységvizsgálat kistérségi szinten értelmezhető, számítható, térképezhető és interpretálható*. A CIVAS modell lehetővé teszi, hogy a későbbiek során viszonylag mérsékelt időráfordítással az indikátorokat „lecseréljük” és új, a komplex problémaköröket pontosabban leíró, a területi folyamatokat jobban jellemző mutatókkal helyettesítsük.

A fent említett öt – a területi folyamatok szempontjából releváns – komplex éghajlat-változási problémakör szükségszerűen a tényleges jelenségek leszűkítését jelentik. Ugyanakkor *a vizsgált komplex természeti, társadalmi, gazdasági problémák köre bővíthető, illetve további módszertani fejlesztéssel komplex mutatóvá alakítható* (pl. „Balaton problémakör”: vízszintcsökkenés, vízminőségromlás, idegenforgalom visszaesése, kritikainfrastruktúra-kockázatok, erdők állapotának veszélyeztetettsége stb.).

A jelen közleményben *az öt komplex problémakör közül az aszály és szárazodás, az erdőtűzveszély, valamint a városi hőhullámok problémáira vonatkozó éghajlati sérülékenységvizsgálat eredményeit mutatjuk be*. A biológiai sokféleség csökkenése, illetve a szélsőséges vízjárás problémakörök esetében a kitettség indikátorokat szolgáltató modelleredmények (pl. talajnedvesség, lefolyás, csapadékintenzitás, hőmennyiség stb.) a Kárpát-medence térségére rendkívül bizonytalanok, ezen indikátorok előállítása további modellfejlesztéseket, alkalmazásokat igényel.

A *kitettségi indikátorok* forrása az ELTE-TTK Meteorológiai Tanszéke, amelyek a vizsgálat során a tíz Európára vo-

natkozó 50 km-es horizontális felbontású regionális klímamodell közül a holland meteorológiai szolgálat (KNMI) szimulációin alapulnak. A KNMI által alkalmazott regionális modell a RACMO volt (Lenderink et al., 2003). A kiindulási és határfeltételeket az 1961–1990 referencia időszakra, s a 2071–2100 célidőszakra a brit HadCM3/HadAM3H (Rowell, 2005) biztosította. A futtatás során a viszonylag pesszimista A2 scenáriót tekintették, amely a világ sokféleségének megmaradásával, valamint az emberiség lélekszámának állandó, de lassú növekedésével számol (Nakicenovic – Swart, 2000). A gazdasági és technikai fejlődés várhatóan minden földrajzi régióban érvényesül, de az összes forgatókönyv közül ez esetben a leglassabban. Az A2 scenárió 2100-ra a globális szén-dioxid-szint 850 ppm-re növekedésével számol, ami az ipari forradalom előtti légköri mennyiség közel háromszorosa.

A kistérségekre meghatározott értékek a szimulált meteorológiai mezőkből kerültek meghatározásra az indikátormező értékéből a referencia és a célidőszakra is. A kiválasztás azért esett erre a szimulációra, mert a hazai havi átlagos hőmérsékleti és csapadéértékeket elfogadhatóan reprodukálta. Azonban a klímamodell-eredmények bizonytalansága nagy, futtatásuk és hibakorrekciójuk időigé-

nyes, valamint a modell-outputok és a leskálázott változók térbeli és időbeni felbontása nem elegendő, így a további kutatások során feltétlenül szükséges finomabb léptékű, 25 km-es rácspontú felbontással leskálázott éghajlati modelleredmények használata.

Az érzékenységi és alkalmazkodóképességi indikátorok alkalmazása során törekedtünk a legmegfelelőbbek kiválasztására, amelyet számos feltétel nehezített. Ezek közül kiemelhető, hogy a szükséges területi indikátorok csak korlátozott számban állnak rendelkezésre, valamint vannak olyanok, amelyek előállíthatók, azonban nem értelmezhetők kistérségi szinten. Az egyes problémakörökhöz tartozó, és vizsgált jelenlegként eltérő indikátorok meghatározását és előállítását – tématerületenkénti bontásban – az alábbiakban mutatjuk be (Pálvolgyi, 2009; Rideg, 2008).

Aszály és szárazodás okozta mezőgazdasági és vidékfejlesztési kockázatok

Az éghajlatváltozás következtében a jövőben a tartósan magas nyári hőmérséklet, az egyre növekedő időjárási szélsőségek és a csapadékhiány miatt fokozódhat az aszályok súlyossága és gyakorisága. Erre a mező-

2. táblázat

Az aszály és szárazodás témakörében felhasznált indikátorok

Vizsgált komplex folyamat, probléma	Indikátorok		Számítási módja	Forrása
	típusa	megnevezése		
Aszály és mezőgazdaság	Kitettség indikátor	Ángyán-féle aszályossági index	Tenyészedőidőszak hőösszege/ éves csapadékösszeg (°C/mm)	ELTE Meteorológiai Tanszék
	Érzékenységi indikátor	Talajok aszályérzékenysége	A talajok vízgazdálkodási tulajdonságai alapján képzett érzékenységi mutató	MTA-TAKI, SZIE, VÁTI NK.ft.
	Alkalmazkodóképességi indikátor	Agráradaptációs index	1 ha mezőgazdasági területre jutó kistérségi mezőgazdasági bruttó hozzáadott érték (BHÉ) és agrártámogatásból képzett komplex mutató	VÁTI NK.ft.

gazdaság, és ezáltal az élelmiszer-ellátás a leginkább érzékeny, mert tartós aszálykor megsemmisülhet, vagy lényegesen csökkenhet a termés, és a feldolgozó kapacitások is kihasználatlanok maradhatnak. A vizsgálatokban a mezőgazdaság megközelítésében az aszályllyal foglalkozunk, így az aszályllyal szembeni sérülékenység meghatározása első megközelítésben az 2. táblázatban felsorolt indikátorokkal történt.

Az *éghajlati kitettség* változását jellemző indikátor az *Ángyán-féle* ariditási index változása. Az éghajlati modellből származtatott eredmények övezetességet mutatnak, valamint az index értéke az ország déli és keleti területein a legnagyobb jelenleg és a jövőben is. Ez leginkább e térségekben lévő magas hőmérsékletnek és az országos átlag alatti prognosztizált lehulló csapadékösszegnek köszönhető.

Érzékenységi indikátorként – az MTA Talajtani és Agrokémiai Kutatóintézet és a Szent István Egyetem Környezet- és Tájgazdálkodási Intézete által kidolgozott – talajok vízgazdálkodási tulajdonságai és vízmegtartó képessége alapján meghatározott egyes talajtípusok eltérő aszályérzékenységét vettük alapul (Várrallyay, 2008, 2009), amely eredményeként nagyon érzékeny talajok az Alpokalja, Homokhátság, Közép-Tisza-vidék, Hortobágy és a Kis- és Nagy-Sárrét területén találhatók.

Magyarországon az aszályos évek gyakorisága, nagysága és kárkövetkezménye eltérő. Az aszály okozta károk egyaránt jelentkeznek a növénytermelésben (termésmennyiség csökken, akár teljes terméspusztulás előfordulhat) és az állattenyésztésben (állatok megbetegednek, illetve elhullanak). Az *aszályokkal szembeni alkalmazkodóképesség* meghatározásakor abból indultunk ki, hogy a károk elviselése, kompenzálása, illetve elhárítása elsősorban a térség gazdasági viszonyaitól függ, így alkalmazkodási indikátorként egy általunk képzett mutatót alkalmaztunk. Ez az indikátor tartalmazza

– az egy hektár mezőgazdasági területre eső kistérségi mezőgazdasági bruttó hozzáadott értéket (BHE) mint az ágazat jöve-

delemtermelő képességét jellemző mutatót (Udovecz, 2002); és

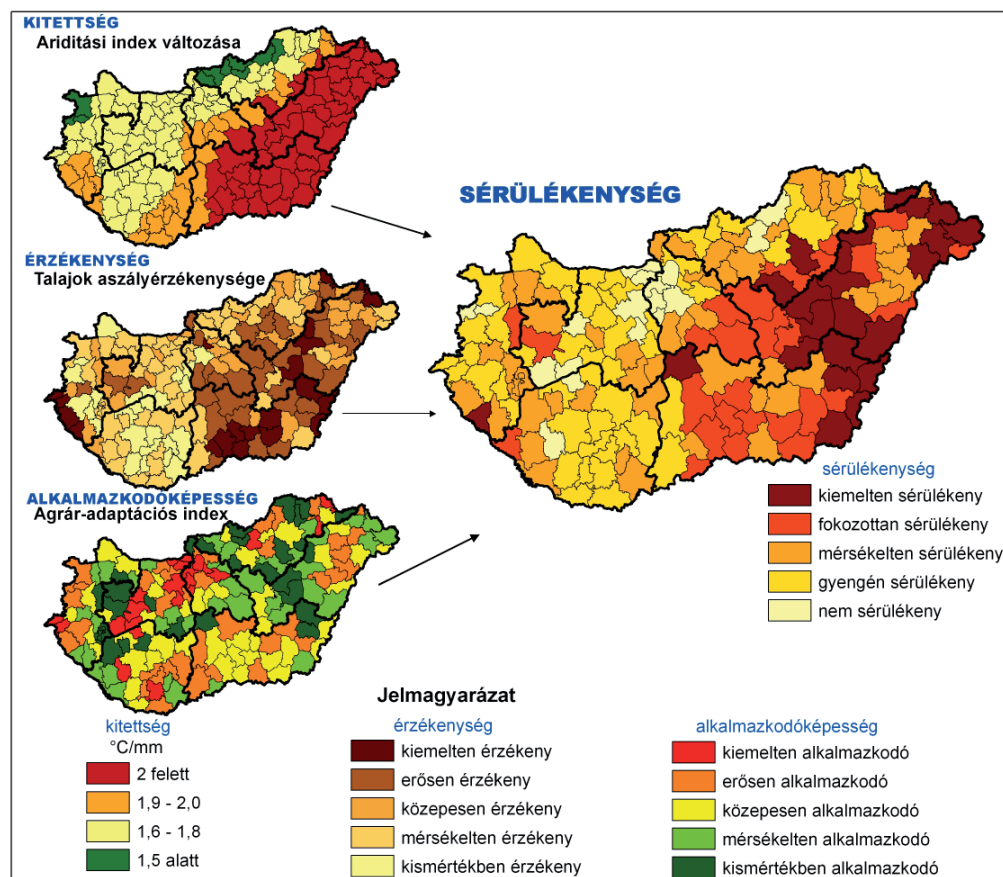
– az agrártámogatásokat oly módon, hogy a legrosszabbul adaptálódó kistérségek azok lettek, amelyek alacsony mezőgazdasági BHE-val és alacsony támogatottsággal rendelkeznek (ezek nem az adottságuknak megfelelően termelnek), valamint azok, amelyek sok támogatást kapnak, de a pénzt feltehetően nem hatékonyan hasznosítják, így a mezőgazdasági BHE-ban ez meg sem jelenik.

E megközelítésben a nagyon jól adaptálódó kistérségek a sokat termelők, jelentős teljesítménnyel rendelkezők, amelyek támogatás nélkül is eredményesek. A komplex adaptációs mutató értékei alapján a jól alkalmazkodó területek mozaikosan helyezkednek el az országban. E térségek a Pilis, Budai-hegység, Gerecse előterében, a Balaton-felvidéken, a Déli-Bakony, a Vasi-hegyhát és az Őrség, valamint a Mecsek, Baranyai-dombság, Bácskai löszös-hátság, Heves-Borsodi-dombság és a Zemplén-hegység területein találhatók.

E mutatókból képzett sérülékenységvizsgálat eredményeit a 4. ábrán mutatjuk be.

A *legsérülékenyebb kistérségek* az ország keleti és középső területein, elsősorban Bács-Kiskun, Jász-Nagykun-Szolnok, Szabolcs-Szatmár-Bereg keleti, Hajdú-Bihar déli és Békés megye északkeleti részén találhatók. A Szatmár-Beregi-síkság kiemelkedik, ennek oka a térség gyenge alkalmazkodóképességére vezethető vissza. Ugyanakkor a kitettség indikátorok térbeni eloszlása (azaz a regionális klímadell-eredmények) alapján a Hajdúság és a Körös-Maros-köze északnyugati része a környezeténél kevésbé sérülékeny az aszályhajlam fokozódása szempontjából. E nagy térségeken kívül kisebb szigetszerű eltérések is megfigyelhetők a Dunántúlon, mint a Nyugat-Bakony északi előtere, a Marcal-medence és a Dráva mente területei, amelyek nagyobb sérülékenysége elsősorban az itt lévő talajok aszályérzékenységevel és a belső perifériák alacsony jövedelemtermelő képességével magyarázható. A Balaton-felvidék a környezetétől eltérően az átlagosnál kevésbé sérülékeny, az itt lévő

4. ábra



Éghajlati kitettség, érzékenység, alkalmazkodóképesség és sérülékenység az aszály és szárazodás vonatkozásában

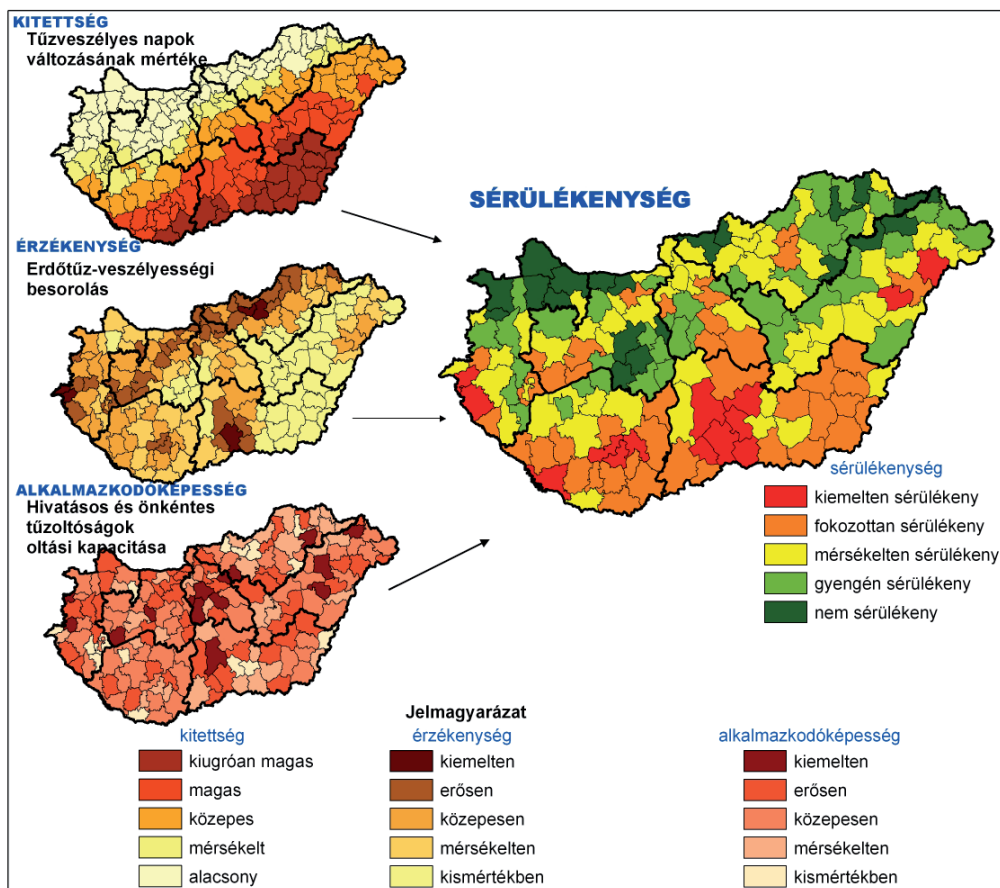
karsztos talajok vízgazdálkodási tulajdonságai jók, és a térség alkalmazkodóképessége jó, elsősorban a magas támogatás-adszorpciós képességének köszönhetően.

Magyarország területének 35%-át alkotják az éghajlatváltozás hatására bekövetkező aszályosodással szemben a kiemelten és fokozottan sérülékeny térségek – ez a leg-hátrányosabb helyzetű kistérségek 45%-a –, amellyel a lakosság 22%-a érintett. A legkevesbé sérülékenyek az ország fejlettebb térségei, valamint a csekély mezőgazdasági potenciállal rendelkező, urbanizált térségek.

Az erdőtüzek veszélye

Az erdők területe Magyarországon elérte a 2 millió hektárt, azonban összetételükben, egészségi állapotukban és a kitermelhető faanyag mennyiségében is változást okozhat a várhatóan szárazodó klíma és a csapadék éven belüli eloszlásának változása. Mind az aszály, mind az egyéb szélsőséges időjárási jelenségek is nyomon követhetők az erdők állapotában. Az elmúlt években Magyarországon is megfigyelhető az erdő- és bozóttüzek egyre gyakoribbá válása – ami komoly kockázati

5. ábra



**Éghajlati kitettség, érzékenység, alkalmazkodóképesség és sérülékenység
az erdőtűzveszély vonatkozásában**

tényezőt jelent –, amelyek terjedése azonban egyelőre csak részben hozható összefüggésbe az éghajlatváltozással. A vizsgálat során az erdők tűzveszélyeztetettségét befolyásoló indikátorokat a 3. táblázat tartalmazza.

A *kitettségi indikátor* (azaz a tűzveszélyes napok számának jövőbeli alakulása) övezetes képet mutat, és a legmagasabb változás az ország déli területein mutatkozik, ahol több mint 20 nappal nőhet az érintett időszakok hossza.

Az *érzékenységi indikátor* a Mezőgazdasági Szakigazgatási Hivatal (MgSzH) Er-

dészeti Igazgatósága által települési szinten nyilvántartott (az erdőgazdálkodók kezelésében lévő erdőterületeire vonatkozó, nagymértékben és közepesen erdőtűz-veszélyeztetett besorolású) területi adatain alapszik.³ Ennek alapján az erdőtűzérzékeny területek elsősorban Duna–Tisza közti Homokhátság-

³ Mezőgazdasági Szakigazgatási Hivatal Erdészeti Igazgatóság és Országos Katasztrófavédelmi Főigazgatóság: Országos Erdőtűzvédelmi Terv, 2008 (http://www.aesz.hu/index.php?option=com_content&task=view&id=1247).

3. táblázat

Az erdőtűz témakörében felhasznált indikátorok

Vizsgált komplex folyamat, probléma	Indikátorok		Számítási módja	Forrása
	típusa	megnevezése		
Erdők, erdőtűz	Kitettségi indikátor	Tűzveszélyes napok száma	Azon napok száma évenként, amikor a napi maximum hőmérséklet 30 °C fölé emelkedik, a relatív nedvességtartalom nem éri el a 30%-ot és a megelőző 30 napban a csapadékösszeg nem éri el a 30 mm-t	ELTE Meteorológiai Tanszék
	Érzékenységi indikátor	Kistérségek erdőtűz-veszélyeztetettségi besorolása	Hivatalosan nyilvántartott erdőgazdálkodók kezelésében lévő erdőterületek veszélyeztetettsége (forrás gazda által kategorizálva)	MgSzH, OKF, VÁTI NK ft.
	Alkalmazkodóképességi indikátor	A hivatásos és önkéntes tűzoltóságok vonulási ideje		OKF, VÁTI NK ft.

gon, az Aggteleki-karszt, az Ózd–Pétersvárai-dombság és a Börzsöny, Cserhát vidékén, valamint Nyugat-Magyarországon az Őrség, Kemeneshát, Bakony, valamint a Baranyai-hegyhát területein találhatók.

Az alkalmazkodóképességet a hivatásos és az önkéntes tűzoltók átlagos vonulási idejével jellemeztük. E mutató alapján a főbb problémák figyelhetők meg az Észak-magyarországi Régió aprófalvas, többnyire elmaradott területein, ahol a domborzati adottságok által meghatározott útviszonyok a fő befolyásolási tényezők, valamint a Pannónhalmi, Kiskunmajsai és a Kistérségi kistérségek esetében is komoly gondot okozhat a tűzoltóságok oltási kapacitásainak, kiérkezési idejének helyzete.

Az eredmények szerint az erdőtűz vonatkozásában legsérülékenyebb kistérségek a Duna–Tisza közén, a Mecsek, Baranyai- és Zalai-dombság, a Déli-Bakony, valamint a Nyírség egyes területein találhatók (5. ábra). A déli területeken fő ok a tűzveszélyes napok számának jelentős várható növekedése. A többi érintett térségben elsősorban az oltást nehezítő elérhetőség okoz gondokat, illetve a nyugati határ mentén a faösszetétel. A főváros

környékén és az északi határ mentén ezeken kívül a társadalmi kockázati tényezők befolyásolják leginkább a sérülékenységet. Összességében megállapítható, hogy az ország területének 36%-a kiemelten és fokozottan sérülékeny, ez az érintett védett területek és lakosság esetében is közel 30%-os arányt tesz ki.

A városi hőhullámok közegészségügyi kockázatai

A kistérségi klímasérülékenység közegészségügyi vizsgálatában első közelítésként a városi hőhullámok egészségkárosító hatásaival (hősokk, hőség, idő előtti halálozás) foglalkozunk, ugyanis jelenleg erről rendelkezünk elégséges szakirodalmi információkkal (Páldy – Málnási, 2009). A vizsgálat során használt települési hőhullámokat befolyásoló indikátorok a 4. táblázatban láthatók.

Az éghajlati kitettséget jellemző indikátor a hőhullámos napok számának növekedése. Az éghajlati modellből származtatott eredmények övezetességet mutatnak, amely azt jelzi, hogy a hőhullámok az ország déli területein nagyobb számban jelentkeznek jelenleg és a jövőben is.

4. táblázat

A hőhullám témakörében felhasznált indikátorok

Vizsgált komplex folyamat, probléma	Indikátorok		Számítási módja	Forrása
	típusa	megnevezése		
Emberi egészség - települési hőhullámok	Kitettségi indikátor	3 napos időtartamot meghaladó 30 °C feletti maximum hőmérséklet	Azon napok száma évenként, amikor legalább három egymás utáni napon a napi maximum hőmérséklet 30 °C fölé emelkedett (hőhullám napok)	ELTE Meteorológiai Tanszék
	Érzékenységi indikátor	Komplex mutató	Központi belterületi lakossűrűség, várható élettartam, egy főre eső zöld- és erdőterület, 5 éven aluliak és a 60 év felettiek aránya	VÁTI NKft.
	Alkalmazkodóképességi indikátor	Komplex mutató	Egy lakosra jutó jövedelem, 2003–2008 közötti épületenergetikai támogatások összege, iskolázottság, mentőállomások elérési ideje	VÁTI NKft.

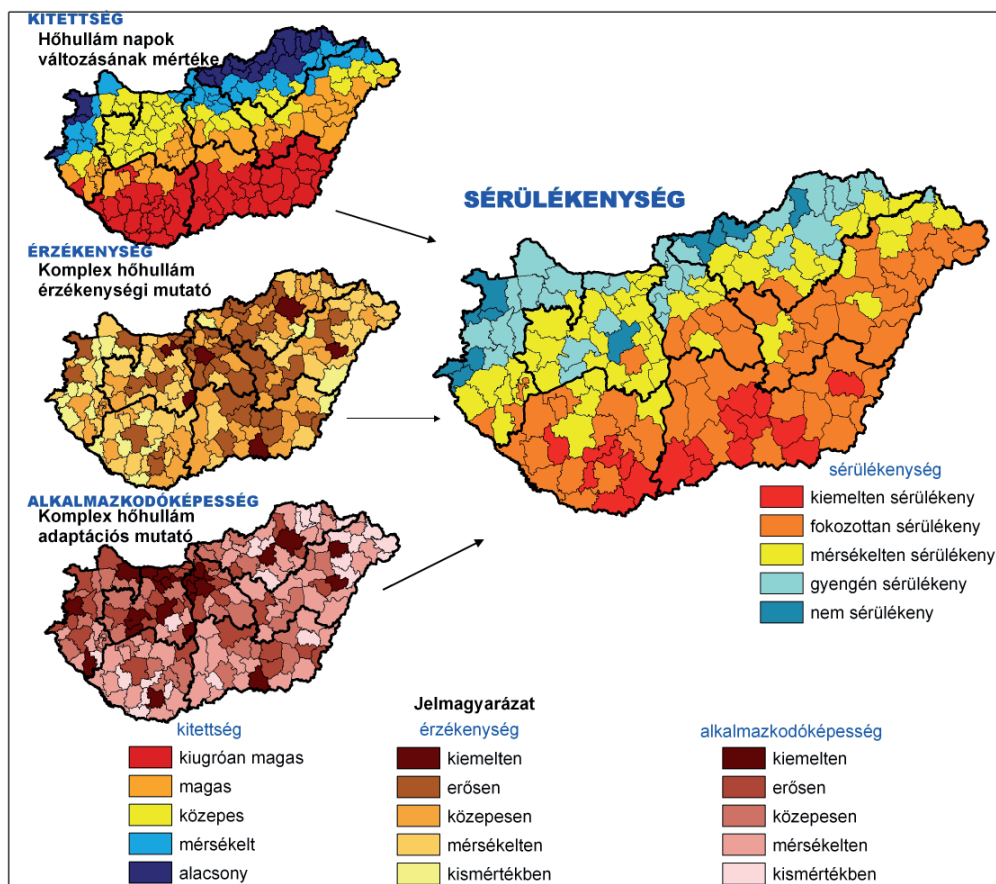
Az *érzékenységi indikátor* figyelembe veszi a belterületi lakossűrűség mellett a zöld- és erdőterületek arányát, releváns egészségügyi mutatókat (várható élettartam) és a népesség korösszetételét (5 éven aluliak és a 60 év felettiek aránya) is. Ez a tartósan magas hőmérséklet által fokozottan veszélyeztetett népességet modellezi, ahol a városi hőszigetelés következtében a hőmérséklet több fokkal magasabb, gyengébb a természetes szellőzés, továbbá az épületek kisugárzása miatt lassabb az esti hőmérséklet-csökkenés, így a hatásoknak kitett lakosság érintettsége is jelentősebb. Kiemelt érzékenység az ország középső területein, valamint a nagyvárosi, nagyobb beépítettségű térségekben jellemző. A belső perifériális helyzetben lévő, elmaradott térségekben elsősorban a népesség egészségi állapota, elöregedése miatt nagyobb a térségi érzékenység.

A *hőhullámok esetében az alkalmazkodóképességet* elsősorban az egyéni elhárítási lehetőségek (pl. nyári utazás, légkondicionáló beszerelése, kiköltözés a városból) segíthetik, amelyek egyenként nem vizsgálhatók, de erősen függnak a lakosság jövedelmi

viszonyaitól. Első megközelítésben az egy főre jutó jövedelmet használtuk, amelyet a továbbiakban kiegészítettünk a 2003 és 2008 közötti épületenergetikai támogatások mutatóival, az adott helyen élő közösség iskolázottsági viszonyaival, valamint az érzékeny társadalmi csoportoknak történő segítségnyújtási lehetőségekkel is. Az így kialakított mutató pontosabb képet ad az egyes térségek hőhullámokhoz való alkalmazkodási képességének mértékéről, hiszen az iskolázottságban tetten érhető társadalmi szempont is figyelembe vehető. Az egyéni elhárítási lehetőségek – megfelelő tudatos cselekvéssel, tervezéssel – akár alacsony költségek mellett is eredményesek lehetnek. Ez alapján kiemelten alkalmazkodóképes Budapest és agglomerációja, a régió és megyeszékhelyek, valamint Nyugat- és Közép-Dunántúl fejlett gazdasággal, magasabb jövedelmi mutatókkal rendelkező térségei.

A sérülékenységi vizsgálat alapján délkelet felől északnyugat felé haladva folyamatosan csökken a kistérségek hőhullámokkal kapcsolatos sérülékenysége, a csökkenés mértéke azonban nem egyenletes (6. ábra). Elsősorban a dél-alföldi és dél-dunántúli ré-

6. ábra



**Éghajlati kitettség, érzékenység, alkalmazkodóképesség és sérülékenység
a városi hőhullámok vonatkozásában**

giók déli összefüggő területein, illetve az Alföld egyéb szigetszerű foltjain várható, hogy a klímaváltozás következtében gyakoribbá váló hőhullámok súlyos közegészségügyi helyzeteket eredményeznek. A térségek közül a nagyvárosi kistérségek a magas beépítettség és lakossági érintettség miatt, míg az ország déli területein lévők elsősorban az egyre hosszabban előforduló hőségnapok megjelenése miatt kerültek ebbe a kategóriába. A fokozottan sérülékeny kistérségek is elsősorban a déli területeken találhatók, ezek egy részénél a jobb alkalmazkodást a

fejlettség alacsony szintje is gátolja, így sérülékenységük emiatt is nagyobb. Legkevésbé a középhegységi zóna mentén és attól északra elhelyezkedő térségek érzékenyek a hőhullámokra, amelyek elsősorban alacsonyabb kitettségük miatt lehetnek kedvezőbb helyzetben. A nyugat-dunántúli térségek emellett magasabb fejlettségi státusuknak is köszönhetik az alacsonyabb sérülékenységet. Összegezve a *kiemelten és fokozottan sérülékeny területek az ország területének 52%-át fedik le, és e területeken él a lakosság 37%-a.*

3. TOVÁBBI KUTATÁSI IRÁNYOK

A kistérségi szintű éghajlati sérülékenységvizsgálat kivitelezése – annak úttörő voltából, hatalmas alapadat- és számítási igényéből fakadóan – időigényes folyamat. Az értékelés módszertani megalapozása megtörtént, az elsődleges eredmények megszülettek, az értékelési folyamat azonban nem ért véget. Az elmúlt időszakban új alapadatok beszerzésére nyílt lehetőség, amelyek – jelenleg folyamatban lévő – feldolgozása lehetővé teszi, hogy a hiányzó érzékenységi, illetve adaptációs mutatók (árvíz, biodiverzitás csökkenése) számszerűsítése által a fent bemutatott témakörök közül mindegyik esetében rendelkezésre álljon a teljes mutatósor, és így elvégezhető legyen a komplex sérülékenységi értékelés.

A sérülékenységvizsgálat alapját képező kitettségi mutatók a jövőben az eddig felhasználtnál – és jelen közleményben bemutatottnál – finomabb (10, illetve 25 km-es) horizontális felbontású, így a kistérségi szintű várható változásokat jobban leírni képes klíma modellek output eredményein alapulnak majd. Mindezen változások következtében a klímaváltozással szembeni kistérségi sérülékenység a közeljövőben mind területi, mind tartalmi értelemben teljes körűvé válik, és így megfelelő alapot nyújt a szükséges klímaadaptációs intézkedések területi sajátosságokat figyelembe vevő meghatározásához.

A kutatómunka további folytatása, pontosítása biztosíthatja, hogy az éghajlatváltozás

térségi szempontjai és az éghajlatváltozás káros hatásaival szembeni intézkedések a területfejlesztési, környezetügyi és egyéb érintett ágazati stratégiákba, helyi fenntarthatósági programokba beépüljenek, és az eltérő adottságú és veszélyeztetettségű térségek egyedi, a megelőzést és az alkalmazkodóképességet is magukban foglaló intézkedéseket dolgozhassanak ki.

KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

Köszönettel tartozunk a munkához adott értékes gondolatokért, az eredmények kidolgozásában és értelmezésében nyújtott segítségért, a rendelkezésünkre bocsátott adatokért, írásos és szóbeli tanulmányaikért az *ELTE TTK Meteorológiai Tanszék*, a *Gödöllői Szent István Egyetem*, az *Országos Katasztrófavédelmi Igazgatóság*, az *Országos Környezet-egészségügyi Intézet*, valamint az *MTA-ÖBKI* és az *MTA-TAKI* tudományos kutatóinak. A kutatómunkát részben a *Miniszterelnöki Hivatal* és a *Magyar Tudományos Akadémia* közötti stratégiai kutatásokról szóló együttműködési megállapodás, részben a *Nemzeti Fejlesztési és Gazdasági Minisztérium Területfejlesztési és Építésügyi Szakállamtitkársága* támogatja.

FORRÁSMUNKÁK JEGYZÉKE

- (1) BARTHOLY J. – PONGRÁCZ R. – GELYBÓ GY. (2007): Regional climate change expected in Hungary for 2071-2100. *Applied Ecology and Environmental Research* 5, 1-17. pp.
- (2) BARTHOLY J. – PONGRÁCZ R. – GELYBÓ GY. – SZABÓ P. (2008): Analysis of expected climate change in the Carpathian basin using the PRUDENCE results. *Időjárás* 112, 249-264. pp.
- (3) CENTERI CS. – PATAKI R. – BÍRÓ ZS. – CSÁSZÁR A. (2003): Az eróziós térképek kategóriáinak értékelése. *Agrokémia és Talajtan, Szemle*, 52(3-4): 443-454. pp.
- (4) CHRISTENSEN, J.H. – CARTER, T.R. – RUMMUKAINEN, M. – AMANATIDIS, G. (2007): Evaluating the performance and utility of regional climate models: the PRUDENCE project. *Climatic Change* 81, 1-6. pp.
- (5) CZIRA T. – DOBOZI E. – SELMECZI P. – KOHÁN Z. – RIDEG A. – SCHNELLER K. (2010): A területfejlesztés 4 éves szakmai programja a klímaváltozás hatásainak mérséklésre (2010-2013). CD

kiadvány, VÁTI Nonprofit Kft., Budapest, 39. (6) CZIRA T. – PÁLVÖLGYI T. – RIDEG A. – SELMECZI P. (2010): A magyar területpolitika törekvései és eszközei a klímaváltozás hatásainak mérséklésére. Falu-Város-Régió: Területi monitoring és értékelés – új eszközök, módszerek, eredmények, 2010/1, 60-66. pp. (7) EEA (2008): EEA Report No 4/2008: Impacts of Europe's changing climate – 2008 indicator-based assessment. (8) IPCC (2007): Climate Change 2007 – The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the IPCC. (ISBN 978 0521 88009-1 Hardback; 978 0521 70596-7 Paperback) (9) LÁNG I. – CSETE L. – JOLÁNKAI M. (szerk., 2007): A globális klímaváltozás: hazai hatások és válaszok: a VAHAVA jelentés. Szaktudás Kiadó Ház, Budapest, ISBN 978-963-9736-17-7 (10) LENDERINK, G. – VAN DEN HURK, B. – VAN MEIJGAARD, E. – VAN ULDEN, A. – CUJIPERS, H. (2003): Simulation of present-day climate in RACMO2: first results and model developments. KNMI technical report 252, 24p. (11) NAKICENOVIC, N. – SWART, R. (eds., 2000): Emissions Scenarios. A special reports of IPCC Working Group III. Cambridge University Press, Cambridge, UK. 570 p. (12) PÁLDY A. – MÁLNÁSI T. (2009): Magyarország lakossága egészségi állapotának környezetegészségügyi vonatkozásai. Országos Környezetegészségügyi Intézet, Budapest (13) PÁLVÖLGYI T. (2008): Az éghajlatváltozás hatásai az épített környezetre és az infrastruktúrára. (In: Fodor I. – Suvák A. (szerk.): A fenntartható fejlődés és a megújuló természeti erőforrások környezetvédelmi összefüggései a Kárpát-medencében. MTA Regionális Kutatások Központja, Pécs (14) PÁLVÖLGYI T. (2009): A klímásérülékenység regionális értékelésének módszertana. Tanulmány „A hazai környezetállapot vizsgálata, különös tekintettel a klímaváltozásra” c. MEH-MTA kutatási projekt keretében. (megjelenés alatt) (15) PÁLVÖLGYI T. – HUNYADY A. (2008): Common methodological framework of CLAVIER Impact Case Studies (in: Database on the statistical-empirical interrelations between the high resolution climate indicators and the parameters of impact issues). CLAVIER Report, www.clavier-eu.org) (16) RIDEG A. (2008): Az éghajlatváltozás értékelésének területfejlesztési lehetőségei. BME Környezetgazdaságtan Tanszék, diplomamunka (17) ROWELL, D.P. (2005): A scenario of European climate change for the late 21st century: seasonal means and interannual variability. *Climate Dynamics* 25, 837-849. pp. (18) UDOVECZ G. (2002): A magyar agrárgazdaság versenyesélyei az Európai Unióban. *Magyar Tudomány*, 2002/9. (19) VÁRALLYAY GY. (2008): A talaj szerepe a csapadék-szélsőségek kedvezőtlen hatásainak mérséklésében. „KLÍMA-21” Füzetek, 52. sz. 57-72. pp. (20) VÁRALLYAY GY. – FARKAS Cs. (2008): A klímaváltozás várható hatásai Magyarország talajaira. *Klimaváltozás: környezet-kockázat-társadalom* (kutatási eredmények), Szaktudás Kiadó Ház, Budapest (21) VÁRALLYAY GY. ET AL. (2009): Magyarországi talajok vízgazdálkodási tulajdonságainak kategóriarendszere és 1:100000 méretarányú térképe. *Agrokémia és Talajtan*, 29. 77-112. pp.

**SOIL DEGRADATION PROCESSES AND EXTREME HYDROLOGICAL
SITUATIONS AS FACTORS DETERMINING
THE STATE OF THE ENVIRONMENT**

By
VÁRALLYAY, GYÖRGY

Keywords: soil multifunctionality, soil degradation, soil fertility, soil resilience, waterlogging hazard and drought sensitivity, environmental status.

Soil is one of the most important natural resource in Hungary, which is renewable under the right conditions. Consequently, the rational and sustainable use, protection and conservation of soil resources – maintaining their multifunctionality – are priority tasks for both biomass production and environmental protection and are key elements of sustainable development.

Human society uses (and sometimes misuses) more and more soil functions, utilizing two specific and unique soil characteristics: fertility and resilience. As a result of the highly varied soil forming factors a rather heterogeneous, sometimes mosaic-like soil cover developed in Hungary. The substantial and detailed Hungarian soil database represents a comprehensive scientific basis for rational land use and soil management.

The natural conditions in Hungary (particularly in the lowlands and plains) are generally favourable for rain-fed biomass production. These conditions, however, show extremely high, irregular, consequently hardly predictable spatial and temporal variability, often extremes, and react sensitively to various natural or human-induced stresses. The main constraints are:

Soil degradation processes.

Extreme moisture regime situations: simultaneous hazard of flood, waterlogging, over-moistening and drought.

Unfavourable changes in the biogeochemical cycles of the elements, especially of plant nutrients and environmental pollutants.

The harmful consequences of the undesirable soil processes can be prevented or at least moderated on the basis of real prognoses, sensitivity and stress tolerance analyses.

Hungary has limited water resources. The annual precipitation, surface and subsurface water resources cannot be expected to increase in the future. The increasing water demand has to be satisfied from these limited resources. Water will be the key factor of sustainable biomass production, agricultural and rural development and environment protection. Consequently, improving the efficiency of water use will be a key element of sustainable development.

According to climate change prognoses the probability, frequency, duration and seriousness of extreme meteorological/hydrological situations and their harmful consequences will increase in the future. It is therefore particularly important that the soil is the largest potential

natural water reservoir of the country. In many cases, however, the efficient use of this huge potential water storage capacity is limited either by slow infiltration or poor water retention, resulting in extreme hydrological events such as flood, waterlogging, over-moistening or drought, with their unfavourable consequences. The basic aim of any moisture control action is: to help infiltration into the soil and to increase water storage within the soil in a form which is available for plants. Most of these soil moisture control measures are also efficient elements of environment protection.

THE EFFECT OF REGULAR SOIL DISTURBANCE ON THE CARBON DIOXIDE EMISSION OF THE SOIL IN AN ORCHARD

By
TÓTH, ESZTER – FARKAS, CSILLA

Keywords: soil carbon dioxide emission, undisturbed soil column, climatic room, peach orchard, soil water potential, inter-row cultivation.

We studied the carbon dioxide emission of soil, soil water content and soil water potential to compare practically undisturbed grass-covered rows and regularly disked rows of a peach orchard. Our aim was to develop a technique for measuring the carbon dioxide emission of soil, highlighting the effects of tillage-induced structural changes on soil respiration. In each of the two studied treatments 23 large undisturbed soil columns of approximately 800 cm³ were taken from the upper 10 cm layer. Three samples per treatment were used for measuring soil bulk density and initial soil water content, while the other 20 samples were placed in a climatic room for incubation experiments. Additionally, undisturbed soil samples of 100 cm³ were collected three times for determining soil water retention curves. Soil texture, soil nutrient content and the indicators of soil biological activity were determined from disturbed soil samples, collected from the topsoil of the grass-covered and disked rows. The carbon dioxide emission of soil was studied for the two treatments as a function of soil water content and soil water potential. For this purpose, we took air samples from above the incubated large soil columns 12 times within a 3-month long period. Each measurement consisted of taking two air samples: at the beginning of the incubation and after three hours. The differences between the studied soil cultivation systems we assessed using one-way ANOVA at 5% significance level. It was found that nutrient content and biological activity were higher in the undisturbed grass-covered soil than in the disked soil. Soil respiration was closely interrelated with both soil water content and soil water potential. Significantly higher soil carbon dioxide emission values were measured in the grass-covered soil at all measuring times and nearly all over the soil water content range. We concluded that besides the favourable effects of soil tillage on soil aeration, regular soil disturbance reduced soil biological activity, resulting in decrease of the soil carbon-dioxide emission.

YIELD STABILITY OF FIELD CROP SPECIES INFLUENCED BY CLIMATIC FACTORS

By

TARNAWA, ÁKOS – KLUPÁCS, HELGA – BALLA, ISTVÁN – JOLÁNKAI, MÁRTON

Keywords: weather, climatic factors, crop production, yield stability.

Field crop species are exposed to various impacts influencing yield performance. The paper provides research results obtained from a study evaluating climatic impacts on 11 crop species during the period of 1960 to 2000 based on 32 meteorological parameters. Temperature, precipitation and radiation trends were analysed and crop species behaviour patterns were identified.

INTERRELATION BETWEEN THE SAFETY OF FLOOD PROTECTION AND CLIMATIC EFFECTS IN THE CATCHMENT AREA OF RIVER TISZA

By

RADVÁNSZKY, BERTALAN – BABÁK, KRISZTINA – BALOGH, JÁNOS – FÁBIÁN,
SZABOLCS ÁKOS – SCHWEITZER, FERENC

Keywords: climate change, risks, flood plains, modelling, Tisza.

Floods may only be predicted if we are aware of the cause and development of the weather situations that generate them. In the catchment area of River Tisza, which has an extremely variable regime, not only the winter thaw, but the spring-summer and even the heavy autumn rainfalls can cause dangerous floods.

The reason for the natural disasters that have recently occurred in the catchment area of River Tisza may be the upward change of daily average temperature. The analyses made using REMO climate model anticipate the following important changes by the end of the 21st century. It is expected that the monthly average temperatures will increase for every month of the year. The extent of rainfall is going to change in space and time. The model forecasts a maximum of 6% annual increase in rainfall in the plains of the catchment area of River Tisza, and 6–9% in the region of the North Eastern Carpathians. The most significant decrease in precipitation – up to 6–15% – is to be expected in the Transylvanian basin

The Hydrological Discharge (HD) model indicates that the annual runoff of River Tisza will decrease. The most significant drop in discharge is to be expected in September, February and March.

These analyses have convinced us that the depositing of sediment in the floodplains, the formation of point bars, as well as the floodplain vegetation and the man-induced effects would have a greater impact than it had been thought before.

APPLICABILITY OF PROFILE AND CATCHMENT SCALE MODELS FOR ASSESSING THE ENVIRONMENTAL IMPACTS OF CLIMATE CHANGE

By
FARKAS, CSILLA – HAGYÓ, ANDREA

Keywords: climate change, extreme weather situations, mathematical models, benchmark model evaluation criteria.

We compared eight profile-based and five catchment scale mathematical models that could be used for evaluating the environmental impacts of the climate change. Principles of the „good modelling practice” were used. Using the Benchmark criteria, the models were ranked to select the one(s) capable of predicting the effects of climate change on water and nutrient transport under the conditions prevailing in Hungary. It was found that the SWAP and the 4M models as well as the SWAT and the INCA models best suited the selection criteria at profile and catchment scales, respectively. The HYDRUS model appeared to be the most suitable model for simulating nutrient transport at both profile and small catchment scales. Of the catchment-scale, semi-distributed models, the SWAT and the INCA models would be suitable to simulate the combined effects of the various climate and land use scenarios on hydrological regime and soil and mass transport. The theoretical model evaluation, however, should be refined for particular cases before making final decisions on the application of models.

ESTIMATING EROSION UNDER CHANGING CLIMATIC CONDITIONS

By
SZALAI, ZOLTÁN – BALOGH, JÁNOS – JAKAB, GERGELY

Keywords: climate change, soil erosion modelling, land use, MEDRUSH, WEPP.

Climate change can influence the physical and chemical properties of the soil both in the short and in the long run, and indirectly it has an important impact on the rate of soil erosion. The effects of extreme precipitation events – which are assumed to become more frequent – were simulated using the WEPP model. The impact of long-term changes in climate was predicted using the MEDRUSH model. The probable climate used in this study is characterized by the increased frequency of extreme precipitation events, as well as more uneven distribution of precipitation over time. Under such circumstances the present pattern of land use (arable field and pasture) is expected to be changed. More frequent extreme precipitation events will cause heavier soil loss even if the total volume of precipitation decreases. In our case, soil loss can increase by 10%–16%, and the share of rill and ephemeral gully erosion will significantly increase. In the short run, soil loss on cultivated slopes could be important, especially on steep slopes. The most important effect of this process from the aspect of soil conservation is not the large-scale soil loss, but the concentrated sedimentation. In the longer

run the steeper slopes are going to deteriorate dramatically. Natural reforestation could be an effective tool in saving the soil. At the most critical sites, forest plantations of native species could be useful as well, although the model predicts that environmental conditions will be less favourable for them than today; therefore their water and soil conservation capacity is expected to be lower.

CONSIDERATION OF CLIMATE CHANGE IN ENVIRONMENTAL ASSESSMENTS

By
PÁLVÖLGYI, TAMÁS

Keywords: environmental assessment, climate change, strategic environmental assessment, infrastructure development.

Environmental assessment is one of the central elements in preparing and planning various economic activities. For infrastructural development projects, environmental assessment needs to be prepared as part of the process for obtaining the environmental permit. For plans, programs and strategies, environmental assessment tasks are part of the strategic environmental assessment (SEA). Business activities are influenced by the direct and indirect impacts of climate change. These impacts may vary depending on the economic sectors, location etc.

The aim of our research was to identify the methodologies suitable for assessing the impact of long-acting programmes, plans and schemes launched ‘today’ on the climate of the ‘future’, and on how the changing climate may influence the outcome and effectiveness of these development projects. Our main findings were:

- The ‘susceptibility’ of infrastructural projects to the effects of climate change varies greatly. Consideration of the direct and indirect greenhouse gas emission of individual components, as well as assessment of the impact of climate change on the project makes it possible to give an objective analysis of the climate aspects of the various parts of a project. Based on our research, we divided projects into two climate categories. It is suggested that for projects in the first category (e.g. new power plants, change of fuel, transport infrastructure development, intensive agricultural production etc.) a climate change impact assessment should always be carried out.

- Climate change impact assessment fits in well with strategic environmental assessment. The legal and methodological framework of the latter could be used for climate change impact assessment as well, which could form an organic component of strategic environmental assessment. As a first step in the methodology of climate change impact assessment we formulated a climate protection sustainability value chart with 14 comparative criteria and conditions against which projects could be assessed. Also provided are points to consider with respect to social participation aimed at promoting climate change in connection with such projects.

METHODOLOGY AND RESULTS OF CLIMATE CHANGE RELATED VULNERABILITY ASSESSMENT ON THE LEVEL OF MICRO-REGIONS

By

PÁLVÖLGYI, TAMÁS – CZIRA, TAMÁS – DOBOZI, ESZTER – RIDEG, ADRIENN –
SCHNELLER, KRISZTIÁN

Keywords: climate change, sensitivity, adaptive capacity, vulnerability micro-regions.

The goal of the research was to develop a semi-objective methodological framework which enables the comparative assessment of climate change related vulnerability on the level of micro regions. As part of the domestic adaptation of the Climate Impact and Vulnerability Assessment Scheme (CIVAS) model, various indicators of exposure, sensitivity and adaptive capacity have been identified. Based on these indicators, the complex vulnerability for a) droughts and aridification, b) forest fire risk and c) health risks of heat waves have been analyzed and mapped. The study may be used to facilitate decision-making in the course of preparing regional environmental and sustainable development programs. It may also facilitate the implementation of the National Climate Change Strategy at the level of micro-regions.

CONTENTS

<i>Foreword</i>	3
-----------------	---

STUDIES

<i>Várallyay, György</i> : Soil degradation processes and extreme hydrological situations as factors determining the state of the environment	4
<i>Tóth, Eszter – Farkas, Csilla</i> : The effect of regular soil disturbance on the carbon dioxide emission of the soil in an orchard	29
<i>Tarnawa, Ákos – Klupács, Helga – Balla, István – Jolánkai, Márton</i> : Yield stability of field crop species influenced by climatic factors	39
<i>Radvánszky, Bertalan – Babák, Krisztina – Balogh, János – Fábíán, Szabolcs Ákos – Schweitzer, Ferenc</i> : Interrelation between the safety of flood protection and climatic effects in the catchment area of River Tisza	43
<i>Farkas, Csilla – Hagyó, Andrea</i> : Applicability of profile and catchment scale models for assessing the environmental impacts of climate change	59
<i>Szalai, Zoltán – Balogh, János – Jakab, Gergely</i> : Estimating erosion under changing climatic conditions	75
<i>Pálvölgyi, Tamás</i> : Consideration of climate change in environmental assessments	81
<i>Pálvölgyi, Tamás – Czira, Tamás – Dobozi, Eszter – Rideg, Adrienn – Schneller, Krisztián</i> : Methodology and results of climate change related vulnerability assessment on the level of micro-regions	88
Summary	103

Schweitzer Ferenc, az MTA Földrajztudományi Kutatóintézet tudományos osztályvezetője, (1112 Budapest, Budaörsi út 43–45., Tel.: 309-2600/1484, Fax: 309-2628, E-mail: schweidf@mtafki.hu)

Szalai Zoltán, az MTA Földrajztudományi Kutatóintézet tudományos főmunkatársa (1112 Budapest, Budaörsi út 45., Tel./fax: 309-2686, E-mail: szalaiz@iif.hu)

Tarnawa Ákos, a SZIE Mezőgazdaság- és Környezettudományi Kar Növénytermesztési Intézet egyetemi tanársegéde (2100 Gödöllő, Páter Károly u. 1., Tel.: 28/522-000/1670, Fax: 28/410-804, E-mail: Tarnawa.Akos@mkk.szie.hu)

Tóth Eszter, az MTA Talajtani és Agrokémiai Kutatóintézet tudományos munkatársa (1022 Budapest, Herman Ottó út 15., Tel.: 224-3652, Fax: 224-3671, E-mail: teszter@rissac.hu)

Várallyay György, akadémikus, az MTA Talajtani és Agrokémiai Kutatóintézet kutatóprofesszora (1022 Budapest, Herman Ottó út 15., Tel./fax: 356-4682, E-mail: g.varallyay@rissac.hu)

SZÁMUNK SZERZŐI

- Babák Krisztina**, a PTE Természettudományi Kar Földrajzi Intézet Általános és Alkalmazott Környezetföldrajzi Tanszék tanársegéde (7624 Pécs, Ifjúság útja 6., Tel.: 72/503-600/4134, Fax: 72/501-531, E-mail: babak@gamma.ttk.pte.hu)
- Balla István**, a SZIE Mezőgazdaság- és Környezettudományi Kar Növénytermesztési Intézet PhD hallgatója (2100 Gödöllő, Páter Károly u. 1., Tel.: 28/522-000/1670, Fax: 28/410-804, E-mail: balla.istvan@mkk.szie.hu)
- Balogh János**, az MTA Földrajztudományi Kutatóintézet főtanácsosa (1112 Budapest, Budaörsi út 43–45., Tel.: 309-2600/1482, Fax: 309-2628, E-mail: baloghj@helka.iif.hu)
- Czira Tamás**, a VÁTI Nonprofit Kft. Területi Tervezési és Értékelési Igazgatóság Területi Elemzési, Értékelési és Monitoring Iroda irodavezetője (1016 Budapest, Gellérthegy u. 30–32., Tel.: 224-3269, Fax: 224-3290, E-mail: tczira@vati.hu)
- Dobozi Eszter**, a VÁTI Nonprofit Kft. Területi Tervezési és Értékelési Igazgatóság Területi Elemzési, Értékelési és Monitoring Iroda csoportvezetője (1016 Budapest, Gellérthegy u. 30–32., Tel.: 224-3100/4576, E-mail: edobozi@vati.hu)
- Fábián Szabolcs Ákos**, a PTE Science, Please! Projektiroda tudományos munkatársa (7624 Pécs, Ifjúság útja 6., Tel.: 72/503-600/4616, Fax: 72/501-531, E-mail: smafu@gamma.ttk.pte.hu)
- Farkas Csilla**, az MTA TAKI tudományos főmunkatársa (1022 Budapest, Herman Ottó út 15., Tel.: 224-3652, Fax: 224-3671, E-mail: csilla@rissac.hu; Norvég Környezetvédelmi és Mezőgazdasági Intézet (Bioforsk), Frederik A. Dahls vei 20, 1432 Ås, Norvégia)
- Hagyó Andrea**, az MTA Talajtani és Agrokémiai Kutatóintézet tudományos segédmunkatársa (1022 Budapest, Herman Ottó út 15., Tel.: 224-3652, Fax: 356-4682, E-mail: ahagyó@rissac.hu)
- Jakab Gergely**, az MTA Földrajztudományi Kutatóintézet tudományos munkatársa (1112 Budapest, Budaörsi út 45., Tel./fax: 309-2686, E-mail: jakabg@mtafki.hu)
- Jolánkai Márton**, a SZIE Mezőgazdaság- és Környezettudományi Kar Növénytermesztési Intézet egyetemi tanára, intézetigazgató (2103 Gödöllő, Páter K. u. 1., Tel.: 28/522-000/1671, Fax: 28/410-804, E-mail: Jolankai.Marton@mkk.szie.hu)
- Klupács Helga**, a Fejér Megyei MGSZH Növény- és Talajvédelmi Igazgatóság agrármérnöke (2481 Velence, Ország út 23., Tel.: 22/589-210, Fax: 22/589-211, E-mail: klupacs.helga@fejer.ontsz.hu)
- Pálvolgyi Tamás**, a BME Gazdaság- és Társadalomtudományi Kar Környezetgazdaságtan Tanszék egyetemi docense (1117 Budapest, Magyar tudósok körútja 2. Q épület, Tel.: 463-1941, E-mail: tpalvolgyi@mail.datanet.hu)
- Radvánszky Bertalan**, a PTE Science, Please! Projektiroda tudományos segédmunkatársa (7624 Pécs, Ifjúság útja 6., Tel.: 72/503-600/4286, Fax: 72/501-531, E-mail: radberti@gamma.ttk.pte.hu)
- Rideg Adrienn**, a VÁTI Nonprofit Kft. Területi Tervezési és Értékelési Igazgatóság Területi Elemzési, Értékelési és Monitoring Iroda tervező-elemző gyakornoka (1016 Budapest, Gellérthegy u. 30–32., Tel.: 224-3100/4558, E-mail: arideg@vati.hu)
- Schneller Krisztián**, a VÁTI Nonprofit Kft. Területi Tervezési és Értékelési Igazgatóság Térségi Tervezési és Területrendezési Iroda tervezője (1016 Budapest, Gellérthegy u. 30–32., Tel.: 224-3100/4400, E-mail: kschneller@vati.hu)